



ICRP 간행물 117

# 영상의학과 밖에서 수행하는 형광 투시 안내 절차에서 방사선방호

Radiological Protection in Fluoroscopically Guided  
Procedures Performed outside the Imaging Department



대한방사선방어학회

이 번역본 초안은 2012년 가을 한양대학교 원자력공학과 대학원  
‘현대보건물리’ 수강생들이 마련했습니다.

표지사진: 형광투시 유도 혈관성형술 치료 후 피부손상 사례  
자료: S. Nishimoto 등, Indian J. of Plastic Surgery, 45(1).  
109(2012).

ICRP Publication 117

# 영상의학과 밖에서 수행하는 형광 투시 안내 절차에서 방사선방호

**Radiological Protection in Fluoroscopically Guided  
Procedures Performed outside the Imaging Department**

ICRP를 대신한 저자

M.M. Rehani, O. Ciraj-Bjelac, E. Vano, D.L. Miller, S. Walsh,  
B.D. Giordano, J. Persliden

역주: 이재기

이 ICRP 간행물의 우리말 번역본은 ICRP의  
허락(2012년 12월)을 받았으며 ICRP 정신에  
따라 무료로 배포합니다.

**국제방사선방호위원회**



## 역사 서문

의료분야에서 X선을 사용은 발견이후 1세기가 지난 1970년대까지는 전통적 투과영상이나 형광투시가 대부분이었다. 1980년에는 컴퓨터의 비약적인 발전과 함께 단순 투영영상기술을 넘어서 전산화단층촬영(CT)과 영상재구성 및 영상처리 기술을 통해 선택적으로 단면영상 또는 인체 내 특정 관심 체적과 구조물을 3차원 영상으로 획득할 수 있게 되었다. 이후 2000년 고성능(컴퓨터 성능뿐만 아니라 X선관 휘도 증강, 검출기 감도 개선 효과도 포함)CT기술의 개발로 4차원 투시영상을 실시간으로 볼 수 있게 되었다. 또한 형광투시장비의 영상수감부에 반도체 검출기 배열을 도입함으로써 해상도를 향상시켰다.

의사에게 ‘눈’을 제공하는 내시경과 같은 원격조작 기구와 투시영상 기술의 발전은 과거의 개복치료를 대신하는 경관 또는 경피적 치료를 가능하게 하여 침습을 최소화하는 치료방법을 제시하게 되었다. 고령화로 인한 개방 치료가 어려운 고령 환자가 증가에 따른 중재적 방사선 사용하는 치료기술 수요 역시 계속 증가하게 되었다. 따라서 과거에는 영상의학과(진단방사선과) 중심으로 이루어지던 진료절차가 거의 모든 전문과로 분산되었다.

의료기관에서 사용되는 방사선영역의 확장은 방사선 치료과정에 참여하는 의료인의 증가와 함께 방사선안전에 대한 우려가 늘어나게 되었다. 투시기술이 발전할수록 복잡한 치료에 도전하게 되는데 이는 곧 방사선 투시시간 증가를 의미하므로 환자는 물론 의료진의 안전도 그 만큼 위협받게 된다. 실제로 중재적 방사선치료 과정에서 예상치 못한 피부상해를 입은 환자가 종종 발생할 뿐만 아니라 치료하는 의사에게 백내장이 발생한 경우도 늘어나고 있다.

이 간행물에서 주된 우려는 방사선방호시설이 미흡한 장소에서 수행되는 고선량 방사선치료와 방사선방호에 충분한 교육훈련이 시행되지 않은 의료진으로 구성된 치료과정의 현실이다. 따라서 영상의학과 이외의 의료분야와 관련된 종사자들에게 방사선 치료절차에 수반되는 방사선학적 위험에 대한 기초자료와 주의사항을 정리하여 제공함으로써 주의를 환기하려는 것이 이 간행물의 목적이다. 이 간행물이 널리 읽혀 국제방사선방호위원회(ICRP)가 의도한 것처럼 의료방사선 안전에 대한 관계자의 관심이 요구된다.

무릇 안전문제에는 당국의 개입도 필요하다. 그러나 방사선안전 부문에 대해 우리나라의 주무 당국은 원자력안전위원회와 보건복지부로 양분되어 있다. 현행 법규에 따르면 진단X선과 관련한 안전은 의료법이, 기타 방사선 안전은 원자력안전법이 그 골격을 규정한다. 그런데 이 보고서에서 주로 다루는 중재적 방사선 치료는 성격이 애매하다. X선을 사용하지만 그 기능이 ‘진단’은 아니지만 의료행

위라는 속성 때문에 원자력안전위원회가 중재적 방사선치료에 대한 안전문제를 적극적으로 개입하지 않는다. 역으로 X선을 취급하는 종사자의 안전문제는 의료 행위 문제이기보다는 산업안전 문제인데 질병관리본부가 관장하고 있다. 이런 애매함은 의료분야의 다른 방사선 이용에도 마찬가지이다. 치료방사선이나 핵의학 분야에서 종사자 안전은 원자력안전위원회가 담당하고 있지만 정작 더 중요한 환자 안전문제는 소극적 자세로 임해 왔다. 최근에는 원자력안전법 하부규정을 보완하여 이 분야 환자보호에 보다 적극적으로 개입할 준비를 하고 있다.

2011년 원자력안전위원회가 원자력안전규제에 관해 국제안전규제검토서비스(IRRS)를 받으면서 방사선안전규제 부분의 유보하고 원전안전규제 부분만 수검했다. 그 이유는 이처럼 규제 책임체계부터 국제표준에 미흡한 때문이었다. 약간은 부끄러운 실상이다.

국가 안전관리가 공고하기 위해서는 책임당국이 명확하고 그리하여 합리적이고 선진화된 제도와 체계로 선도해야 한다. 방사선안전 문제가 성격상 여러 행정기관의 업무영역에 걸칠 수외에 없더라도 기본 정책을 선도하는 중심체가 필요하다. 최근 후쿠시마 원전사고 여파로 식품방사능 이슈와 국내원전 부품비리 사건 등으로 책임당국 문제가 불거지자 정부는 원자력 및 방사선안전에 관한 부처간 조정기구로 국무총리 산하에 ‘원자력 안전 규제정책 조정회의’를 설치하기로 했다. 이 기구가 이름대로 조정자 역할을 성공적으로 수행하여 우리 방사선 안전 관리체계를 공고히 만들기를 기대하고 또 이를 강력히 촉구하고 싶다.

이 간행물은 많은 첨단 의료용어를 담고 있다. 의료 현장에서는 많은 전문용어가 우리말이 아니라 원문으로 통용되고 있음은 알지만 번역을 위해 전문용어를 우리말로 옮겨야 하는 부담이 있었다. 의학용어사전에서 찾을 수 있는 것도 있지만 일부는 사전에도 없어 인터넷 검색으로 수집하기도 했다. 소수 용어는 다른 용어를 참조하여 역자가 편집해 사용하기도 했다. 역자는 의학에 대해서는 비전문가이므로 용어를 만들 자격도 없지만 ‘번역본’을 만드는 입장에서 불가피했음을 밝힌다. 오류에 대해서 의학전문가의 피드백을 기다린다.

끝으로 이 간행물의 우리말 번역과 배포를 승인해준 ICRP에 감사하고, 이 번역본 초고를 만들어 준 2012년 가을 한양대학교 대학원 ‘현대보건물리’ 수강생의 노고에도 감사한다.

2014년 1월

역자: 이재기(한양대학교 원자력공학과, ICRP위원)

# 목 차

역자 서문 .....	iii
용어 .....	vii
논설 .....	ix
요지 .....	xiii
요점 .....	1
제1장 이 보고서의 동기는 무엇인가? .....	3
1.1. 어떤 절차가 관심 대상이고 누가 관계되는가? .....	3
1.2. 높은 방사선량을 받을 수 있는 사람은 누구인가? .....	6
1.3. 방사선방호에 관한 훈련, 지식, 의식 및 기술의 부족 .....	7
1.4. 환자선량과 종사자 선량 .....	7
1.5. 두려움과 과신 .....	8
1.6. 훈련 .....	8
1.7. 왜 이 보고서인가? .....	9
1.8. 참고문헌 .....	10
제2장 전리 방사선의 보건영향 .....	11
2.1. 서론 .....	11
2.2. 방사선피폭 현황 .....	11
2.3. 전리방사선의 보건영향 .....	12
2.4. 참고문헌 .....	16
제3장 환자 및 종사자 방호 .....	18
3.1. 방사선방호의 기본 원칙과 방법 .....	18
3.2. 설비 요건 .....	19
3.3. 환자와 종사자 방호의 공통 속성 .....	20
3.4. 종사자 방호 고유 사항 .....	27
3.5. 참고문헌 .....	32

<b>제4장 임상 실무에서 구체적 조건</b> .....	35
4.1. 혈관치료 .....	35
4.2. 비뇨기학 .....	40
4.3. 정형외과 .....	46
4.4. 산부인과학 .....	58
4.5. 위장병학 및 간담도계 .....	63
4.6. 마취 및 통증관리 .....	68
4.7. 감시림프절 생검 .....	69
4.8. 참고문헌 .....	72
<b>제5장 임신과 아동</b> .....	83
5.1. 환자피폭과 임신 .....	83
5.2. 방사선 절차를 거치는 가임연령 환자에 대한 지침 .....	86
5.3. 임신 환자에 대한 지침 .....	87
5.4. 직무피폭과 임신 .....	87
5.5. 아동에 대한 절차 .....	88
5.6. 참고문헌 .....	92
<b>제6장 훈련</b> .....	95
6.1. 서론 .....	96
6.2. 교육과정 .....	96
6.3. 누가 가르쳐야 하는가? .....	97
6.4. 얼마나 훈련해야 하는가? .....	98
6.5. 훈련에 대한 권고 .....	99
6.6. 참고문헌 .....	100
<b>제7장 권고</b> .....	101
<b>부록A. 선량과 단위</b> .....	103
A.1. 환자선량 평가를 위한 양 .....	104
A.2. 종사자 선량 평가를 위한 양 .....	106
A.3. 참고문헌 .....	109



## 사용 약어

AEC	automatic exposure control	자동노출조절(기)
AP	antero-posterior	전-후방향 조사
CT	Computerized Tomography	전산화단층촬영
DAP	dose area product	선량면적곱
DCO	damage control orthopaedics	침습적 고정술
ERCP	endoscopic retrograde cholangio-pancreatography	내시경역행 췌담관 조영술
ESD	entrance skin dose	입사피부선량
ESWL	extracorporeal shock wave lithotripsy	체외충격파 결석파쇄술
EVAR	endovascular aneurysm repair	동맥류 고정술
IAEA	International Atomic Energy Agency	국제원자력기구
ICRP	International Commission on Radiological Protection	국제방사선방호위원회
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurement	국제방사선단위측정위원회
IEC	International Electrotechnical Commission	국제전기기술위원회
ISO	International Standards Organization	국제표준화기구
IXRPC	International X-ray and Radium Protection Committee	국제X선라듐방호위원회 (ICRP 전신)
KUB	kidneys, ureters, bladder	신장-요관-방광
LAT	lateral	측방
MCU	micturating cysto-urethrogram	배뇨방광요도조영술
NEMA	National Electrical Manufacturers Association	미국전기공업회
PA	postero-anterior	후-전방향 조사
PTC	percutaneous transhepatic cholangiography	경피경간 담관조영술
SID	source-to-image receptor distance	선원-영상 수신부 거리
SNL	sentinel lymph node	감시림프절
SLNB	sentinel lymph node biopsy	감시림프절생검
SSD	source-to-skin distance	선원-피부 거리
TIPS	transjugular intrahepatic portosystematic shunt	경경정맥 간내문맥 정맥단락술
UNSCEAR	UN Science Committee on Effect of Atomic Radiation	유엔과학위원회

## 약어가 아닌 의학용어

cannulated hip screw 삽관형 나사를 이용한 내고정술

cystometrography 방광내압측정

digital subtraction angiography 디지털 감산혈관조영술

dynamic hip screw 활강 압박 고정나사를 이용한 내고정술

hip injection 고관절주사

hysterosalpingography 자궁난관조영술

intramedullary nailing of diaphyseal fractures of the femur 대퇴골골절에 대한 수내정법

intramedullary nailing of petrochanteric fracture 대퇴전자부 골절에 대한 수내정법

intravenous pyelography/urography 경정맥 신우/요로조영술

Kirshner wire/external fixator pin placement 커쉬너 와이어/외부 핀고정술

kyphoplasty 경피적 척추후굴풍선 복원술

leiomyomata 평활근종

nephrostomy 신루 설치술

open reduction and internal fixation of malleolar fracture 복사뼈골절에 대한 내부고정 및 개방정복술

percutaneous gastrostomy 경피 위루술

percutaneous jejunostomy 경피 공장루술

percutaneous transhepatic biliary drainage 경피경간 담도배액술

percutaneous transhepatic cholangiography 경피간담조영술

scleroderma 강피증

systemic lupus erythemato 전신성 홍반성 루프스

therapeutic endoscopic retrograde cholangio-pancreatography 내시경 역행 췌담관 조영술

## 의료분야 방사선방호에 관한 ICRP 권고

국제 X선라듐 방호위원회(IXRPC)는 1928년 스톡홀름에서 열린 제2차 국제영상 의학회에서 설립되었다. 1928년 7월 27일에 채택된 IXRPC의 첫 권고는 병원에서 X선이나 라듐을 사용하는 부서에 근무하는 종사자의 방호를 다루고 있다(ICRP 1929). 후에 IXRPC는 국제방사선방호위원회(ICRP)로 개명되었다. 따라서 의료분야의 방사선방호 필요에 따라 ICRP가 태동한 것이 된다.

오늘날은 ICRP는 다섯 개 상설 분과위를 두고 있는데 의료에서 방사선방호는 제 3분과위가 전담한다. 제3분과위 업무범위는 의료피폭(주로 환자)뿐만 아니라 의료진의 직무피폭과 의료 방사선에 따르는 일반인의 피폭까지 포함한다.

ICRP 방사선 방호체계의 최근 진화는 ICRP 103(ICRP 2007a)에 제시되었다. 이 체계가 의료에서 방사선피폭에 대한 적용은 ICRP 105(ICRP 2007b)에 상술되어 있다. ICRP 105 발간 이후 발간된 ICRP 간행물의 약 1/3이 의료에서 방사선방호에 대해 더 구체적인 사항들을 다루고 있는데 다음의 간행물들이다.

- ICRP 106: 방사선의약품에 의한 환자 방사선량(ICRP 2008).
- ICRP 112: 새로운 외부 방사선 치료기술에 의해 발생하는 예기치 못한 방사선 조사의 방호(ICRP, 2009a).
- ICRP 113: 진단 및 중재적 방사선 치료절차의 방사선 방호 교육 및 훈련(ICRP, 2009b).
- ICRP 117: 영상의학과 밖에서 수행하는 형광투시 안내절차에서 방사선방호(본 간행물).
- 심장학 분야에서 방사선방호(ICRP 2013).
- 소아과의 진단 및 중재적 방사선치료에서 방사선방호(ICRP, 발간 예정).

나아가 의료분야에 대한 다른 여러 간행물도 준비 중에 있다. 이러한 사실에서 ICRP가 의료분야의 방사선방호를 여전히 높은 우선순위에 두고 있음을 보여준다.

위 간행물들과 언급되지 않은 이전 간행물은 특정 임상환경에 초점을 맞추고 있다. 이러한 방법에서 절차의 구체화는 의료진이 자신의 전문분야와 관련된 절차에 하나의 간행물(아니라면 소수 간행물)을 참조할 수 있게 한다.

이 간행물은 최근 주목받고 있는 형광투시 과정의 방사선방호 권고를 위해 개발되었다. 영상의학과 외에서 형광투시 사용이 급격한 증가하였다; 경우에 따라 방사선방호에 대한 고려가 뒤따르지 못해 의료진이나 환자의 위험이 증가하고 있다.

이외에도 최근 중재적 방사선치료나 순환기 내과치료에서 형광투시치료 과정에 참여한 일부 의료진에게서 수정체 혼탁이 보고된 바 있다. 여기에서 언급된 현상이 방사선의 영향으로 발생했다면 영상의학과 외에서 사용되는 형광투시 사용에도 이러한 위험의 잠재성이 있다. 수정체 혼탁의 발생은 지금까지 일상적 전리방사선 직무피폭에 따라 임상적으로 관찰 가능한 조직반응이 나타난 유일한 상황이다.

이 간행물은 의료진이나 경영자에게 적절한 방사선 방호훈련 및 역량 평가와 안전장비, 형광투시 장비의 품질관리에 관한 지침을 제공한다. 또한, 환자나 의료진의 안전을 향상시키는 기능을 제안하는 등 형광투시 장비 제작자에게 해당되는 지침도 제공한다.

모든 ICRP 간행물과 마찬가지로 이 간행물도 종사자, 환자 그리고 일반인 모두의 안전을 향상하는데 그 목적을 두고 있다.

Christopher Clement  
ICRP 과학서기

## 참고문헌

- ICRP, 1929. International Recommendations for X-ray and Radium Protection. A Report of the Second International Congress of Radiology. P.A. Nordstedt & Söner, Stockholm, pp. 62-73.
- ICRP, 2007a. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
- ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(6).
- ICRP, 2008. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. ICRP Publication 106. Ann. ICRP 38(1).
- ICRP, 2009a. Preventing accidental exposures from new external beam radiation therapy technologies. ICRP Publication 112. Ann. ICRP 39(4).
- ICRP, 2009b. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP Publication 113. Ann. ICRP 39(5).
- ICRP, 2013. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. Ann. ICRP 42(1).
- ICRP, 2013. Radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology. Ann. ICRP, 42(2).

# 영상의학과 밖에서 수행하는 형광투시 안내 절차에서 방사선방호

## ICRP 간행물 117

2011년 10월 ICRP 승인

**요지** - 영상 의학과 외의 의료분야에서 형광 투시법에 관련된 종사자의 수가 증가하고 있으나, 형광투시 장비 사용에 대한 방사선방호 측면은 주목 받지 못하고 있었다. 영상 의학과 외에서 형광투시를 이용하는 이들의 방사선방호 훈련 부족은 종사자<sup>1)</sup>와 환자의 위험을 증가시킬 수 있다. 혈관 내 대동맥류 치료, 신장혈관 성형술, 장골혈관성형술, 수노관 스텐트 설치술, 치료적 내시경 역행적 채담관조영술, 담관 스텐트이나 배관 설치와 같은 치료절차는 잠재적으로 1 Gy를 넘는 피부선량을 부과할 수 있다. 지금까지 환자나 종사자에게서 형광투시 절차에 따른 조직반응은 중재적 방사선치료와 순환기 내과치료에서만 보고되고 있으나, 영상 의학과 외에서 형광투시법 사용은 이러한 상해에 대한 잠재성을 조성하고 있다.

제2장은 전리방사선의 보건영향과 방호원리 개요를 신고 있다. 제3장은 모든 분야에 공통적으로 종사자와 환자 방호의 일반 측면을 다루고 있고, 제4장은 혈관치료, 비뇨기과, 정형외과 치료, 산부인과, 소화기 및 간담췌계 내과, 마취나 통증관리 분야에 대해 보다 구체적 측면을 다룬다. 감시립프절 생검은 형광투시법보다 방사성 동위원소법을 주로 사용하지만, 이러한 절차는 오는 해에 발간될 다른 ICRP 간행물에서 다루지 않을 것이므로 본 간행물에서 치료실내 절차 수행과 각 전문 분야에 대한 환자와 종사자 선량수준과 선량 관리에 관한 정보를 제공한다.

임신 환자나 종사자와 관련된 주제는 제5장에서 다룬다. ICRP가 최근에 훈련에 대한 보고서를 따로 발간하였지만, 훈련 방향, 전문인을 훈련시키고 평가하는 사람의 역량, 그리고 교과에 대한 지침에 대해 특정 그룹의 구체적 요건을 제6장에서 실었다.

---

1) ‘종사자worker’ 라는 용어는 ‘전일제나 시간제에 관계없이 고용주에 의해 고용되고 직무에서 방사선방호에 대한 권리와 의무를 이해하고 있는 사람’으로 ICRP 103(ICRP 2007)은 정의하고 있다. 이 간행물에서는 두 가지 비슷한 용어를 사용하고 있는데, 위와 같은 의미에서는 ‘종사자’라는 표현을 쓰고 ‘종사자’라는 표현이 어색한 곳에서는 ‘의료진staff’이라는 용어도 사용한다.

이 보고서는 형광투시를 사용할 경우 환자선량 모니터링이 긴요함을 강조한다.

장치 제조자는 환자선량지표를 표시하는 시스템을 개발하고 가능하면 병원 전산망으로 전송되는 환자선량 기록시스템과 치료실에서 형광투시장비를 사용할 때 업무 방해 없이 효과적으로 종사자를 보호하는 차폐 스크린을 갖출 것을 권고한다.

**중심어:** 방사선방호, 형광투시, 방사선, 선량

ICRP를 대신한 저자

M.M. Rehani, O. Ciraj-Bjelac,  
E. Vano, D.L. Miller, S. Walsh,  
B.D. Giordano, J. Persliden

## **참고문헌**

ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

## 요 점

- 근래에 영상의학과 외에서 형광투시 진단법을 사용하는 의료전문인 수가 증가했고 그 사용이 과거 어느 때보다 확장되었다.
- 영상의학과 외에서 사용되는 투시장치에 대한 방사선방호를 일반적으로 고려하고 있지 않다.
- 영상의학과 외에서 사용하는 투시장치 사용자에게 대한 방사선방호 교육 부족은 종사자와 환자의 방사선 위험을 증가 시킬 수 있다.
- 현재까지는 형광투시 절차에서 환자나 종사자의 조직반응 사례는 중재적 방사선 치료와 순환기 내과 치료에서만 보고되었지만, 영상의학과 외에서 사용 수준은 그러한 상해의 잠재성을 조성하고 있다.
- 혈관내대동맥류치료, 신장혈관성형술, 장골혈관성형술, 수뇨관 스텐트 설치, 내시경 역행적 췌담관조영술(ERCP) 그리고 담즙관 스텐트 및 배출관 설치와 같은 절차는 잠재적으로 1 Gy를 초과하는 피부선량을 부과할 수 있다.
- 환자와 종사자를 위한 방사선량 관리는 효과적인 방사선방호 프로그램을 통해서만 충족할 수 있는 도전이다.
- 형광투시에서 환자선량 모니터링은 긴요함을 강조한다.
- 임신부에 대한 의료 방사선사용은 정당화에 기초하며 태아선량을 최소화하는 것이 필요하다.
- 100 mGy 미만의 태아선량은 방사선 위험에 근거한 임신 중절을 정당화하지 못한다.
- 임신을 선언한 여성 종사자의 배태아에 대한 1 mSv 선량 제한이 종사자가 방사선 작업을 완전히 회피하거나 방사선구역에 출입 및 작업을 금지할 필요가 있음을 의미하는 것은 아니다.
- 임신 기간 중 태아가 1 mSv 이하로 유지 될 수 있다는 합리적인 확신이 있다면 임신한 의료 종사자도 방사선 환경에서 작업할 수 있다. 그러나 고용주가 임신한 여성의 피폭환경을 주의 깊게 점검해야 함을 의미한다.
- 환자선량을 줄이기 위한 모든 조치는 직무 선량에도 상응하는 감축효과가 있다. 그러나 그 반대는 꼭 그렇지 않다.
- 형광투시를 사용하는 종사자 눈의 수정체혼탁에 관한 최근 보고는 눈의 방사선방호 대책을 강화할 필요성에 대해 주의를 환기한다.
- 가능하다면, 치료실에서 X선장치를 사용하는 종사자 방호를 위한 차폐스크린 사용을 권고한다.

- 의료전문인을 위한 방사선방호 훈련 프로그램은 대상자가 관계하는 치료 유형에 맞춰야 한다.
- 특정 기능을 수행하는 종사자의 역량은 그 전문성이 있는 사람이 평가해야 한다.
- 투시장치에 대한 주기적 품질관리 시험이 장치 안전성에 대한 신뢰를 제공한다.
- 제조자는 환자선량 지표를 지시하는 시스템을 개발하고 가능하면 환자선량 기록을 병원 전산망으로 전송할 수 있게 해야 한다.
- 제조자는 치료실에서 임상업무를 방해하지 않고 투시장비를 사용하는 종사자를 효과적으로 방호하는 차폐 스크린을 개발하여야 한다.



# 제1장

## 이 보고서의 동기는 무엇인가?

- 근래에 영상의학과 외에서 형광투시 진단법을 사용하는 의료 전문인 수가 증가했고 그 사용이 과거 어느 때보다 확장되었다.
- 영상의학과 외에서 사용되는 투시장치에 대한 방사선방호 적용이 일반적으로 무시되고 있다.
- 영상의학과 외에서 사용하는 투시장치 사용자에게 대한 방사선방호 교육 부족은 종사자와 환자의 방사선 위험을 증가 시킬 수 있다.
- 형광투시를 사용하는 종사자 눈의 수정체혼탁에 관한 최근 보고는 눈의 방사선방호 대책을 강화할 필요성에 대해 주의를 환기한다.

### 1.1. 어떤 절차가 관심 대상이고 누가 관계되는가?

(1) 질병 진단에 X선을 사용한지 1세기가 지난 지금 영상의학과 이외의 영역까지 X선 사용 확장은 과거 어느 때보다 보편화되었다. 영상의학과 외에서 X선 사용은 심장내과 위주로 한 중재적 방사선치료에 현저하게 사용되어 왔으나 이외에도 치료 또는 의학적 절차에서 안내를 위해 다른 의료분야에서 형광투시의 사용이 증가하고 있다.

(2) ICRP 85(ICRP 2001)에서, ICRP는 중재적 방사선치료에서 방사선 상해 예방을 다루었다. 순환기 내과에 관련된 ICRP 간행물도 곧 출간될 것이다(ICRP 2013). 독자적으로 또는 방사선과 전문의와 협력하여 일하는 정형외과, 비뇨기과, 소화기내과, 혈관외과, 마취과(또는 마취사)의 전문의, 기타 의료인에 대해서는 이전 ICRP 간행물에서 다루지 않았다. 그러나 이들 분야에서 방사선사용 증가와 훈련부족 문제의 관점에서 지침이 필요성이 높아졌다. 의료관행은 국제적으로 다르고 따라서 방사선전문회의 역할에도 차이가 있다. 어떤 나라에서는 방사선과전문회의가 방사선 치료 과정에서 중심 역할을 수행한다. 표1.1은 각 전문 의료분야와 관련한 목록을 제공했다.

(3) 방사선절차는 의료전문인에게 환자를 치료하고 임상 목적을 달성하게 한다. 대개의 경우, 방사선치료는 외과적 치료대안보다 비침습적뿐만 아니라 이환률과

표1.1. 영상의학과 외에서 수행되는 통상 절차의 예시(전부는 아님, NCRP 2011로부터 채택)

장기 또는 영역	절차
뼈, 관절, 근골격	골절/탈구 교정 해부학적 정위치 및 방향, 고정을 위한 인공물 기형 교정 주입, 흡인, 생검을 위한 주사바늘 정위 절개위치 안내를 위한 해부학적 정위 뼈 절제 적절성 이물질 정위 생검 척추성형술 척추후골풍선복원술 색전술 종양제거 신경 차단법 진단(동측 대퇴 경/축 골절) 수내정법(골절 접합술의 하나) 키쉬너 와이어/외부고정 핀 설치 경피 장치 설치 인대 복원 정신적 외상 수위확인 낭종 흡인 고주파 열치료 상·하지 배열/관절 평가
소화기	경피 위루형성술 경피 공장조루술
전문과 • 영상의학과 • 소화기내과	생검 스텐트 설치 진단상 혈관조영 색전술
신장 및 비뇨기관	생검 신루술 수뇨관 스텐트 설치 결석제거 종양제거 경정맥 성신우/요로조영 방광내압 측정 방광조영 방광배뇨 조영 요도조영 경피 신장절개결석제거술 체외충격파 쇄석술 신장 스텐트 삽입

표1.1. (계속)

장기 또는 영역	절차
간 및 담즙계통  전문과 • 영상의학과 • 소화기내과	생검 경피 담즙배액술 역행식 내시경 췌담관도영 경피적 담낭 조루술 결석 제거 스텐트 설치 경경정맥 간내문맥정맥단락술 색전술 종양제거 경피간담조영 담즙 배액술
생식기관 전문과 • 영상의학과 • 산부인과	자궁난관 조영법 색전술 골반계측법
혈관계 전문과 • 영사의학과 • 심장내과 • 혈관치료 • 신장내과	정맥조영 진단술 혈관성형술 스텐트 설치 색전술 스텐트 이식술 정맥접근술 하부 정맥 카바 필터 설치 혈관내 동맥류 고정술
중추신경계 전문과 • 영상의학과 • 신경외과 • 신경과	혈관촬영 진단법 색전술 혈전 용해
흉부 전문과 • 영상의학과 • 혈관치료 • 내과	색전술 흉강천자술 흉부배액관 설치 폐혈관조영법 폐 색전술 혈전용해 종양제거

사망률을 낮추며 결과적으로 입원기간이 줄어 비용도 절감할 수 있다. 환자가 개방적 외과적 절차를 거치기 어려울 때는 최선의 대안일 것이다. 특히 고령 환자의 경우처럼, 어떤 때에는 방사선치료가 유일한 대안이 될 수 있다.

(4) 이 간행물에서는 영상의학과 외에서 사용되는 형광투시법 외에도 X선 대신 방사성의약품을 방사선원으로 사용하는 감시 림프절 생검에 대해서도 다룬다. 이러한 주제는 방사선방호 관점에서 주의를 필요로 하지만 향후 다른 ICRP 간행물에서 다를 것 같지 않아 여기서 다루는 것이 적합한 것으로 보았다.

## 1.2. 높은 방사선량을 받을 수 있는 사람은 누구인가?

(5) 오래전부터 방사선을 매일 사용하는 부서에서 전일제로 일하는 사람에 대해서는 방사선방호 교육훈련과 피폭선량 감시가 필요하다는 것이 일반적 이해였다. 사용 부서에는 방사선과, 핵의학과, 영상의학과가 포함된다. 따라서 국가 규제당국은 작업 종사자가 해당시설을 관리할 경우 방사선방호에 대한 책임도 완수해야 한다는 개념을 따라 왔고 지금도 여전한 상황이다. 하지만, 최근에 언급된 부서 이외의 진단 혹은 중재적 치료를 위한 용도로 X선을 사용하는 경우가 현저하게 증가하는 추세를 반영하여 형광 투시장비를 사용할 때 상대적으로 높은 피폭 잠재성이 있는 종사자나 환자가 특별한 관심 대상에 포함된다. 영상의학과 관리아래에 있지 않은 치료실에 투시장비 보급수가 파악되지 않은 나라도 있다. 치료방사선 종사자는 방사선원과 떨어지거나 두껍게 차폐된 선원 부근에서 일하므로 정상적 상황에서는 직무 방사선피폭은 사소하다. 핵의학 시설에는 항상 방사선이 존재하나 종사자의 전반적 피폭은 방사선의 강도가 높은 X선관 부근에서 일하는 종사자보다 낮다. 또한 방사선 영상촬영(투과촬영 또는 CT)분야의 상황도 종사자가 일반적으로 선원으로부터 원거리 혹은 방사선원이 차폐된 제어반에서 일한다는 점에서 다른 분야들과 유사하다. 그러나 투시실 종사자는 X선원(X선관 및 산란방사선 선원인 환자)부근에서 작업을 수행하므로 방사선 피폭은 치료방사선과, 핵의학과 또는 투시기를 사용하지 않는 영상의학과 종사자보다 높을 수 있다. 투시실 종사자의 실제 노출량은 투시실에서 체류 시간(투시장비 가동시간), 차폐 방호복 착용유무(납치마, 갑상선 보호대, 눈 방호구), 이동식 천장거치 스크린이나 납 커튼, 그리고 투시기 등의 변수에 따라 달라진다. 일반적으로 방사선 작업 시간이 같을 때 투시실에 있는 종사자의 방사선 피폭이 투시기를 사용하지 않는 종사자보다 높을 것이다. 혈관치료에서 그렇듯이 의료절차가 장시간 투시나 다수의 영상을 획득하기 위해 많은 방사선을 필요로 한다면 종사자는 상당한 방사선량을 받게 되므로 적절한 훈련과 방호용구 사용하는 더 높은 수준의 방호가

필요하다. 그 외에도 혈관외과 의사가 복부 및 흉부 대동맥 직접 동맥류의 혈관을 교정하기 위해 투시를 사용하는 경우가 증가하고 있으며 이러한 절차에서 받는 피폭선량은 중재적 방사선치료나 심혈관 중재치료에서와 비슷하다. 향후 수년간, 내장 복부 대동맥과 대동맥활arch, 대혈관용 분기도관 또는 천공도관과 같은 더 복잡한 혈관 장치의 사용이 증가할 것으로 예상된다. 이러한 치료는 소요시간이 길고 복잡하여 방사선이 입사하는 표면이 X선관에 대해 고정된 채로 장시간 투시가 필요로 하기 때문에 피부 손상 위험이 높다. 마취과 의사가 통증관리를 위해 영상유도 주사를 실시하는 경우도 증가하고 있다.

### 1.3. 방사선방호에 관한 훈련, 지식, 의식 및 기술의 부족

(6) 많은 나라에서 방사선 비전문 의사가 영상의학 전문가의 도움 없이 혈관촬영에서부터 이동식 영상강화 투시장비까지 영상의학과 유사한 투시 작업을 수행하고 있다. 대부분의 경우, 영상의학과 외에서 투시를 수행하는 의사(정형외과, 비뇨기과, 소화기내과, 혈관외과, 산부인과, 마취과 의사 등)은 방사선방호에 대해 낮은 수준의 훈련을 받았거나 전혀 훈련받지 않으며 의학물리사와 같은 방사선방호 훈련을 받은 역량 있는 전문가와 접촉도 없다. 영상의학과나 순환기내과 외에서 종사하는 방사선사/방사선기사는 자기 시설에서 사용하는 특정 투시기 한돌에만 익숙하다. 따라서 그들과 시설의 간호사는 기술, 지식 및 의식은 제한적일 것이다. 이러한 여건에서 방사선방호문화<sup>2)</sup>의 부족은 환자나 종사자의 위험을 높이게 된다.

### 1.4. 환자선량과 종사자 선량

(7) 일반적으로 종사자에 대한 방사선방호가 환자의 방호보다 더 중요한 것으로 믿고 있다. 이러한 믿음은 다음에 근거한다: (1) 종사자는 전 경력에 걸쳐 방사선작업에 종사할 것이다, (2) 환자는 자신의 이익 때문에 방사선을 피폭한다. (3) 환자는 일생동안 몇 번만 의료 목적으로 방사선에 노출된다. 처음 두 근거는 아직 변화가 없지만 셋째의 경우는 최근 다수의 검사와 방사선절차를 거치는 환자가 증가하면서 급격하게 변하고 있다. 또한, 과거에는 방사선 투과촬영 위주의 검사가 진행되었다면 오늘날에는 CT 검사가 보편화되면서 수십년 전에 비해 환

---

2) <역주> 방사선방호문화radiation protection culture라는 용어를 여기서 사용하고 있지만 아직은 개념과 범위를 잡아나가고 있는 단계이다. 간단하고 쉽게 표현하자면 방사선방호문화란 항상 방사선안전을 생각하는 마음의 틀이다.

자가 받는 선량은 증가하게 되었다. 이는 1회 CT 촬영으로 환자가 받는 방사선량은 수백 회 투과촬영과 대등하기 때문이다. 과거에 투시검사는 대부분의 진단 수단이었다. 그러나 중재적 방사선 기술이 투시절차를 대체하게 되면서 환자가 받는 선량은 증가하게 되었다. 이로 인해 환자 당 고선량 검사의 사용 빈도가 보고되고 있다(NCRP 2009). 따라서 많은 환자들은 종사자의 생애동안 받는 직무선량 이상의 피폭을 받고 있다.

(8) 최근의 UNSCEAR 보고서에 따르면 의료 종사자의 평균선량은(전 세계적으로) 연간 0.5 mSv 으로(UNSCEAR 2010) 45년간 일한 사람의 경우 총 종사경력 피폭은 22.5 mSv 가 된다. 이 수치를 통해 지난 세기에 직무에서 방사선방호에 대한 강조가 피폭량 감소에 영향을 주었고 직무선량이 잘 관리된 것으로 확인되었다. 그러나 많은 나라에서 개인감시 측정이 매우 부실한 사례가 있음을 언급하고 있다.

(9) 특히 이 보고서에서 다루어진 임상분야에서 환자의 방사선방호가 주목받지 못하고 있는 것은 유감이다. 30개국 이상의 개발도상국에서 영상의학과 전문의나 순환기 내과 전문의가 아닌 의사에 대한 설문조사 결과 환자선량 감시가 거의(90% 이상) 없었다(IAEA 2010). 문헌 조사에서 영상의학과 외의 환경에서는 신뢰할 만한 직무선량 데이터가 없는 것으로 나타나 개선의 필요성이 요구된다.

## 1.5. 두려움과 과신

(10) 지식과 의식이 부족한 상황에서는 사람들은 위험을 과대평가하거나 과소평가하는 경향이 있으며 이는 근거 없이 걱정하거나 적절한 방호를 무시하는 것으로 나타난다. 수련의는 선임 의사의 상황 대처방법을 관찰하여 배우는 것이 일반적 관행이다. 따라서 초기에 수련의가 방사선 위험에 대해 호기심을 가지고 시작하더라도 선임 의사가 방사선방호에 대해 무관심하다면 수련의 역시 방사선 방호에 대한 관심과 열정을 잃게 된다. 이러한 현상은 이 보고서에서 다루는 임상 전문가 사이에 흔하게 등장한다. 대부분 그렇듯이 선임의사가 의학물리 전문가와 접촉하지 않으면 전례에 따라 방사선 위험을 무시하거나 두려워하게 된다. 이는 방사선 안전문화의 문제이며 적절한 안전문화의 과급은 선임 의사 책임이 뒤따른다.

## 1.6. 훈련

(11) 역사상 병원에서 X선장치는 영상의학과에서만 사용했기 때문에 비전문의가 방사선 장비를 사용한 절차를 수행할 때는 방사선사/기사로부터 조언과 상담을 받았다. 이러한 상황으로 인해 방사선전문의가 아닌 의사는 실용지침에 근거해 방사선방호에 대해 어느 정도 소개를 받았다. 그러나 시간이 지나면서 방사선의 사용이 증가하였고 X선 장비들이 영상의학과 관리 하에 없는 다른 부서에 설치되었기 때문에 훈련의 부재에 대한 주의가 필요하게 되었다. 비 전문의를 위한 IAEA 교육과정에서 수행한 설문조사([http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/AdditionalResources/Training/2\\_TrainingEvents/Doctorstraining.htm](http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/AdditionalResources/Training/2_TrainingEvents/Doctorstraining.htm))에서 대부분 개발도상국의 비전문의들은 방사선방호에 대한 훈련을 받지 않았으며 이들이 참석하는 학회에서도 방사선방호에 대한 강의나 분과가 없는 것을 알 수 있었다. 따라서 방사선방호 훈련 부족이 초래하는 종사자나 환자에게 위험을 감소하기 위한 개선이 필요하다. ICRP는 방사선방호 훈련수준이 방사선 이용에 상응해야 한다고 권고한다(ICRP 2009).

## 1.7. 왜 이 보고서인가?

(12) 영상의학과 외부에서 방사선 사용은 증가하는 실정이며 투시 진단장치는 점점 정교해지고 짧은 시간에 높은 방사선량을 전달하도록 개발되고 있다; 따라서 투시 시간만으로는 방사선량의 좋은 지표가 되지 못한다. 이 보고서에서 다루는 상황들에서는 환자선량 감시가 거의 부재한다. 디지털 X선 장치로부터 과대피폭은 발견되지 않을 수도 있고<sup>3)</sup>, 품질관리 체계에서 시험되지 않은 장치는 높은 선량과 영상품질 저하를 초래할 수 있다. 절차의 반복은 환자의 누적선량을 증가시킨다. 따라서 관리의 소홀함은 영상품질 인자의 변동으로 인해 환자선량을 높이고 영상품질 저하를 초래하게 된다. 다르게 말해서 시간, 거리, 차폐 원리(제3장 및 제4장 참조)를 적용하는 간단한 기술만 적용한다면 환자와 종사자 모

---

3) <역주> 과거 필름을 사용할 때는 과피폭은 까맣게 된 필름으로 바로 발견된다. 그러나 디지털 X선에서는 영상이 영역간 방사선의 상대강도로 구현되기 때문에 까맣게 된 영상은 나오지 않는다. 선량이 높을수록 해상도가 더 좋은 영상이 나오지만 육안으로 쉬 구별되지 않는다. 선량이 높을수록 해상도가 개선되는 효과 때문에 노출을 증가시키는 바람직하지 않은 경향도 있다. 진단영상은 진단 목적을 달성할 수 있는 수준이면 되지 좋은 영상이 반드시 최선이 아니다. 역으로 노출이 너무 낮으면 영상품질이 떨어져 진단을 방해할 수도 있고 때로는 재촬영하기도 한다. 이 또한 위험이므로 노출이 무리하게 줄이는 것도 최선이 아니다. 따라서 영상의학과에는 진단 목적마다, 환자의 체격에 적합한 촬영 프로토콜 체계가 수립되어 있어야 한다.

두의 안전을 보장하는 것이 가능하게 된다. 영상의학과 외에서 사용되는 투시장치와 직접적으로 연관성은 없으나 이러한 상황에서 얻은 교훈은 부정적 보건영향의 결과로써 환자나 종사자에게 사고 피폭이나 과대피폭이 발생할 수 있음을 보여준다 (ICRP, 2001; Ciraj-Bjelac 등 2010; Vañó 등 2010; [http://www.nytimes.com/2010/08/01/health/01radiation.html?\\_r=3&emc=eta1](http://www.nytimes.com/2010/08/01/health/01radiation.html?_r=3&emc=eta1)). 수술실에서 사용되는 많은 투시장치에서 차폐 스크린이나 플랩이 없어 영상의학과나 순환기내과 외의 종사자 방호에 문제가 되고 있다. 개인선량계를 사용하지 않거나 불규칙적으로 착용하는 경우로 인해 여러 절차에서 직무피폭이 잘 파악되지 않고 있다.

## 1.8. 참고문헌

- Ciraj-Bjelac, O., Rehani, M.M., Sim, K.H., et al., 2010. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 76, 826-834.
- IAEA, 2010. Radiation Protection of Patients. IAEA, Vienna. Available at: <http://rpop.iaea.org> (last accessed 14.02.2011).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. *Ann. ICRP* 30(2).
- ICRP, 2009. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP Publication 113. *Ann. ICRP* 39(5).
- ICRP, 2013. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. *Ann. ICRP* 42(1).
- NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 160. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NCRP, 2011. Radiation Dose Management for Fluoroscopically Guided Interventional Medical Procedures. NCRP Report 168. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report. United Nations, New York.
- Vañó, E., Kleiman, N.J., Duran, A., et al., 2010. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat. Res.* 174, 490-495.



## 제2장

# 전리 방사선의 보건영향

- 아직은 형광투시 절차로 인한 환자나 종사자의 조직반응이 중재적 방사선 시술과 심장학 분야에 국한되어 보고되고 있으나 영상의학과 외에서 투시 사용 수준을 고려한다면 손상의 잠재성을 내포한다.
- 형광투시를 사용할 때 환자선량 감시는 필수적이다.

### 2.1. 서론

(13) 대부분의 사람들(의료 종사자도 예외가 아님)은 X선관에서 나오는 방사선 세기가 의료에 사용되는 전형적 방사성물질(방사성동위원소 또는 방사성의약품)의 강도에 수 백 배 이상임을 인지하지 못하고 있다. 인지의 부재는 의료분야에서 X선 이용자의 방사선방호 인식이 부족한 탓이기도 하다. 방사선방호 실행의 수준은 방사성물질 사용 시설이 더 나은 경향이다. 현실적 목적으로 이 보고서는 X선에 의한 보건영향만 고려한다. X선은 가시광선, 자외선, 적외선, 휴대전화에서 나오는 전파, 극초단파와 같은 전자기파 방사선이다. 이들 전자기파 방사선은 비전리 방사선에 해당하므로 열반응으로 에너지를 잃는 X선과는 주요한 차이가 있다. 전자기파 방사선의 원리를 이용한 방법에는 극초단파 투열요법이나 전자레인지이 대표적이다. 반면에 X선은 전리방사선의 일종이다 - X선은 세포 안에서 원자와 반응하는 간접작용에 의해 유리기를 형성하거나 직접적으로 DNA를 손상이나 세포를 사멸하는 직접작용을 한다.

### 2.2. 방사선피폭 현황

(14) 세계 평균 자연방사선량은 유효선량으로  $2.4 \text{ mSv/y}^4$ 이다(UNSCEAR, 2010). 몇몇 국가에서는 일반적으로 자연방사선량이  $1 \text{ mSv/y}$  수준이지만 어떤 나라에서는  $3 \text{ mSv/y}$  수준이다. 지구상에서는 자연방사선에 의한 유효선량이

---

4) <역주> 이 평균값은 라돈의 선량계수가 인상되기 이전에 평가된 것이다. ICRP는 2009년 성명을 통해 라돈의 선량계수를 과거에 비해 약 2배로 높였다. 일반 대중이 가장 많이 피폭하는 라돈(대개 총 선량의 60%를 차지함)의 선량계수가 배가됨에 따라 연간 자연방사선량도 유의하게(약  $3.5 \text{ mSv}$ ) 증가하게 된다.

5-15 mSv/y에 이르는 지역도 있다(예: 인도의 케랄라, 브라질의 구아라빠리, 이란의 람사). ICRP는 방사선작업종사자의 전신 유효선량한도로 20 mSv/y(지정된 5년<sup>5)</sup> 평균선량; 5년간 100 mSv)를 권고하고 있으며 기타 한도는 표2.1과 같다(ICRP, 2007, 2012).

(15) 형광투시장비를 사용할 때 이 보고서에서 제공하는 방사선 방호도구나 방법을 사용하는 종사자 개인의 직업적 피폭을 약 1 mSv/y 이하로 유지할 수 있다고 강조한다. 이것이 방사선방호의 역할이다.

표2.1. 작업종사자의 선량한도(ICRP, 2007, 2012).

한도 유형	직무피폭 한도
유효선량	지정된 5년 평균 20 mSv
등가선량	
수정체	5년간 100 mSv
피부	연간 500 mSv
손, 발	연간 500 mSv

## 2.3. 전리방사선의 보건영향

(16) 전리방사선의 보건영향은 두 유형으로 분류한다: 비교적 단기간(수주에서 약 1년) 내에 가지적으로 나타나는 영향[‘조직반응’ 또는 ‘결정론적 영향’으로 불림; 피부 홍반, 탈모, 백내장, 불임, 순환계 질환 등]; 발현이 수년에서 수십 년 후에 추정이 가능한 영향(‘확률론적 영향’이라 불림; 암 및 유전질환)

### 2.3.1. 조직반응

(17) 조직반응은 일반적으로 상당히 높은 문턱선량을 가진다(표2.2 참조). 따라서 작업종사자들에 대한 방사선방호가 적절하게 적용된다면 일반적으로 종사자의 피폭은 문턱선량에 도달하지 않는다. 예를 들면 1세기 전에는 종사자의 손에 피부 홍반이 발생하기도 했지만 지난 50여 년 동안 의료 X선을 사용하는 종사자에게서 발생한 일은 거의 없다. 중재적 방사선 기술 및 심장학에서 형광투시절차

5) <역주> 지정된 5년이란 해가 바뀔 때 이동하는 5년이 아니라 규제 당국이 규정하는 특정 5년을 의미한다. 우리나라의 경우 지정된 5년 개념이 도입된 ICRP 60 권고를 제도에 처음 반영한 연도가 1998년이어서 지정된 5년은 1998-2002, 2003-2007, 2008-2012와 같은 기간이 된다.

표2.2. 조직반응의 문턱선량(ICRP, 2007)

조직과 영향	문턱선량	
	단일 피폭 총 선량 (Gy)	분할 피폭의 경우 연간 선량 (Gy/년)
<b>고환</b>		
일시 불임	0.1	0.4
영구 불임	6.0	2.0
<b>난소</b>		
불임	3.0	>0.2
<b>수정체</b>		
백내장(시력 장애)	0.5	0.5를 피폭 연수로 나눈 값
<b>골수</b>		
조혈 기능 저하	0.5	>0.4
<b>심장 또는 뇌</b>		
순환계 질환	0.5	0.5 (분할 피폭 총 선량)

로 인한 환자의 피부 상해가 많이 보고되었으나(ICRP, 2001; Balter 등, 2010) 형광투시법이 이용되는 다른 분야에서는 지금까지 보고된 바가 없다. 또한 납치거나 납 차폐로 보호되지 않는 부위의 다리에 탈모가 중재적 방사선 시술 및 심장병학 의사에게서 보고된 바 있으나(Wiper 등, 2005; Rehani와 Ortiz Lopez, 2006) X선 사용 빈도가 낮은 정형외과 치료, 비뇨기과학, 심장학과 부인과학 분야에서는 보고된 적이 없다. 혈관외과에서도 이러한 방사선 상해에 대한 정보가 없으나 혈관외과 의사의 방사선장비 사용빈도를 고려한다면 직무피폭은 중재적 방사선 시술이나 심장병학자의 피폭과 비견되므로 환자나 종사자 모두에게 조직 반응의 잠재성을 가진다. 그러나 투시실이나 중재적 방사선 치료실에서 받는 방사선량 수준으로 불임이 발생하는 경우는 드물다.

(18) 수정체는 신체에서 방사선 감수성이 큰 조직 중 하나이다(ICRP, 2012). X 선을 사용하는 중재적 방사선시술의 종사자로부터 방사선 유발 백내장이 발견되었다(Vañó 등, 1998; ICRP, 2001). 많은 연구에서 저선량 전리방사선에 피폭된 사람들로 부터 수정체 혼탁의 위험이 상당할 수 있음을 시사하며 CT 촬영 환자(Klein 등, 1993), 우주비행사(Cucinotta 등, 2001; Rastegar 등, 2002), 방사선사(Chodick 등, 2008), 원폭피해생존자(Nakashima 등, 2006; Neriishi 등, 2007) 및 체르노빌 사고 피폭자(Day 등, 1995) 등이 포함된다.

(19) 최근까지 백내장 발생은 관찰가능한 수정체 혼탁의 문턱선량이 분할피폭에서는 5 Sv, 급성피폭에서는 2 Sv 수준인 조직반응으로 대표되었다(ICRP, 2001, 2012). ICRP는 모든 피폭상황 및 피폭범주에 대해 방호최적화를 적용할 것을 권고한다. 최근의 연구된 결과로부터 ICRP는 전신피폭 뿐만 아니라 특정 조직, 특히 수정체, 심장 및 뇌혈관계에 대한 피폭에 대해서도 방호가 최적화되어야 함을 강조한다. ICRP는 최근의 역학적 근거를 검토하여 특히 매우 늦게 발현되는 일부 조직반응은 그 문턱선량이 이전에 고려되던 값보다 낮은 수준으로 조정하였다. 따라서 현재 수정체의 문턱선량은 흡수선량 0.5 Gy 로 고려한다. 또한 불확실하지만 심장과 뇌의 순환계 질환의 흡수선량 문턱값이 0.5 Gy 정도로 낮을 수 있음은 의사가 유념해야 할 일이다. 계획피폭상황에서 직무피폭에 대해 ICRP는 수정체 등가선량 한도를 지정된 5년 평균 20 mSv/y 이내에서 한 해에 50 mSv 로 권고한다(ICRP, 2012).

(20) 만약 의사나 다른 종사자가 방사선방호 장비와 기법을 사용하지 않고 매일 여러 시간 X선원 근처에 있거나 높은 산란 방사선장에서 노출된다면 위험의 수준은 상당할 수 있다. 최근 IAEA가 수행한 두 연구에서 치료실에서 심장 카테터법으로 중재적 시술을 수행하는 전문의와 간호사의 수정체 변화 발생률이 대조군에 비해 높은 결과를 보였다(Ciraj-Bjelac 등, 2010; Vaňó 등, 2010).

## 2.3.2. 확률론적 영향

(21) 확률론적 영향은 암과 유전영향을 포함하는데 사람에게서는 암의 과학적 근거가 유전영향의 근거보다 현저하게 나타났다. ICRP 103(ICRP, 2007)에 따르면 낮은 선량을 방사선에 피폭한 후의 확률론적 영향에 대한 위해 조정 명목 위험계수는 암이 5.5%/Sv, 유전영향이 0.2%/Sv 로 발암 영향은 유전영향에 비해 27배 더 높은 것을 알 수 있다. 히로시마 및 나가사키 원폭피해생존자의 경우 지금까지 방사선 유발 유전영향이 보고된 바 없다. 유전영향에 대한 수천 건의 관련 문헌은 사람 이외의 종에서 관찰된 것으로 수십 년간의 문헌을 신중히 검토한 결과로부터 ICRP는 생식선에 대한 조직가중치를 0.2에서 0.08로 절반 이하로 줄였다(ICRP, 2007). 따라서 이 보고서는 암에 주안점을 둔다.

(22) 암 위험은 확률을 근거로 추정되며 주로 히로시마와 나가사키의 원폭피해 생존자로부터 도출된다. 그러므로 암 위험은 추정 위험이다. 현재 알려진 바는 발암 효과는 조직 선량이 100 mGy 이상일 때 발생할 가능성이 크다. 예를 들어 대략적으로 8 mSv 유효선량을 주는 흉부 CT 촬영은 가슴에 약 20 mGy의 흡수

선량을 주므로 그러한 CT 촬영 5회가 약 100 mGy를 전달하게 된다.<sup>6)</sup> 한두 번 CT 촬영으로부터 받는 방사선량의 암 위험에 대해서는 논란이 있겠지만 5-15회 CT촬영으로 받는 선량은 위험이 보고된 피폭 수준에 이른다. 형광투시 절차에서 환자선량은 가변적이므로 암 위험에 대한 대략적 견해를 얻으려면 선량을 결정해야 한다. 암 위험은 명목 기준인을 근거로 평가되므로 특정 개인에게 유효한 것으로 생각해서는 안 된다. 확률론적 영향은 문턱선량이 없으므로 ICRP는 어떤 준위에서든 선량-영향 사이에 문턱 없는 선형 관계가 성립한다고 본다. 따라서 아무리 낮은 선량에서도 상응하는 위험은 있는 것으로 가정한다.<sup>7)</sup> 그러므로 방호를 위한 최선은 임상적으로 유용한 영상에 상응하는 범위에서 방사선피폭을 합리적으로 최소화하는 것이다.

### 2.3.3. 방사선감수성의 개인차

(23) 인체의 조직 및 기관은 각기 다른 방사선감수성을 가지며 일반적으로 여성이 암 발생에 있어 남성보다 방사선감수성이 높음은 잘 알려져 있다. 젊은 환자가 나이 든 환자보다 방사선감수성이 높은 것 또한 마찬가지이다. 예로 60세에 0.1 Gy 피폭으로 여성의 폐암 생애 기인위험은 동일한 연령에서 동일한 선량을 피폭한 남성에 비하여 약 126% 높은 것으로 추정된다(BEIR, 2006). 만약 남성이 40세에 피폭한다면 폐암 위험은 60세에 동일한 양을 피폭한 경우에 비해 17% 정도 높다. 때로는 여러 장기에 방사선량이 상당히 높을 수 있는 형광투시 유도 절차에서는 방사선방호의 정당화 및 최적화 과정에서 이와 같은 방사선감수성의 일반적인 특성을 고려해야 한다. 나아가 개인마다 방사선 유발암에 대한 민감도에 있어 유전적 차이가 존재하며 더 높은 선량이 관련되는 특정 경우에는 가족력 및 의료이력을 고려해야 한다(ICRP, 1999).<sup>8)</sup>

(24) 원인은 불확실하지만 자가면역이나 결합조직 질환은 환자에게 예상치 못한

6) <역주> 흉부 CT 촬영은 가슴 부위만 집중하여 피폭하기 때문에 유효선량에 비해 개별 조직 등 가선량(또는 흡수선량)이 크다. 이 관계는 단순한 비율로 계산되는 것이 아니라 전형적 흉부 CT 촬영 프로토콜에 대해 인형 모의체와 몬테칼로 시뮬레이션으로 전신의 조직선량(직접 빔 및 산란선까지 고려)을 계산하여 얻은 것이다.

7) <역주> 다소 오해 소지가 있는 표현이다. ICRP 103은 ‘문턱 없는 선량비례 관계’를 방사선방호를 위한 ‘모델’일 뿐이라고 분명히 밝히고 있는데 여기서는 마치 사실인 것처럼 표현되어 있다. 낮은 선량에서도 그에 비례하는 암 위험이 있는지는 모르지만 예방원칙의 윤리에 따라 방사선방호 목적으로는 비례하는 것으로 가정하고 있는 것이다.

8) <역주> 유전자에 대한 지식과 검사기술이 비약적으로 발전하여 암에 취약한 특정 유전소인의 일부는 쉽게 검사할 수는 있다. 그러나 유전정보는 매우 심각한 개인정보이므로 방사선감수성을 확인할 목적으로 유전자 검사를 실시하는 것을 정당화하기는 어렵다고 본다. 그러나 기왕에 그러한 정보가 있는 경우에는 높은 선량 절차를 고려할 때는 이를 참작할 수는 있다.

양상으로 심각한 피부손상을 초래한다. 이 질환에는 강피증scleroderma, 전신 홍반성 루프스systemic lupus erythemato, 류마티스 관절염까지 포함되나 전신 홍반성 루프스의 포함에 대해서는 여전히 논란이 있다. ATM 유전자가 결함된 모세혈관 확장성 운동 실조증과 같은 유전질환은 DNA 복구에 영향을 미치기 때문에 방사선감수성을 증가시키는 경향이다. 일반적으로 진성당뇨병은 방사선감수성을 증가시키지 않지만 방사선 상해의 치유를 방해한다(Balter 등, 2010).

## 2.4. 참고문헌

- Balter, S., Hopewell, J.W., Miller, D.L., et al., 2010. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology* 254, 326-41.
- BEIR, 2006. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. National Academies Press, Washington, DC.
- Chodick, G., Bekiroglu, N., Hauptmann, M., et al., 2008. Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *Am. J. Epidemiol.* 168, 620-31.
- Ciraj-Bjelac, O., Rehani, M.M., Sim, K.H., et al., 2010. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 76, 826-34.
- Cucinotta, F.A., Manuel, F.K., Jones, J., et al., 2001. Space radiation and cataracts in astronauts. *Radiat. Res.* 156, 460-66.
- Day, R., Gorin, M.B., Eller, A.W., 1995. Prevalence of lens changes in Ukrainian children residing around Chernobyl. *Health Phys.* 68, 632-42.
- ICRP, 1999. Genetic susceptibility to cancer. ICRP Publication 79. *Ann. ICRP* 28(1/2).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. *Ann. ICRP* 30(2).
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2-4).
- ICRP, 2012. ICRP statement on tissue reactions / early and late effects of radiation in normal tissues and organs -threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. *Ann.*

ICRP 41(1/2).

- Klein, B.E., Klein, R., Linton, K.L., et al., 1993. Diagnostic X-ray exposure and lens opacities: the Beaver Dam Eye Study. *Am. J. Public Health* 83, 588–90.
- Nakashima, E., Neriishi, K., Minamoto, A., et al., 2006. A reanalysis of atomic-bomb cataract data, 2000–002: a threshold analysis. *Health Phys.* 90, 154–60.
- Neriishi, K., Nakashima, E., Minamoto, A., et al., 2007. Postoperative cataract cases among atomic bomb survivors: radiation dose response and threshold. *Radiat. Res.* 168, 404–08.
- Rastegar, N., Eckart, P., Mertz, M., 2002. Radiation-induced cataract in astronauts and cosmonauts. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 240, 543–47.
- Rehani, M.M., Ortiz Lo´pez, P., 2006. Radiation effects in fluoroscopically guided cardiac interventions –4 keeping them under control. *Int. J. Cardiol.* 109, 147–51.
- UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report. United Nations, New York.
- Vanó, E., González, L., Beneytez, F., et al., 1998. Lens injuries induced by occupational exposure in nonoptimized interventional radiology laboratories. *Br. J. Radiol.* 71, 728–33.
- Vanó, E., Kleiman, N.J., Duran, A., et al., 2010. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat. Res.* 174, 490–95.
- Wiper, A., Katira, A., Roberts, D.H., 2005. Interventional cardiology: it’s a hairy business. *Heart* 91, 1432.

## 제3장

### 환자 및 종사자 보호

- 장비 제작자는 환자선량 지표가 표시되는 시스템을 개발하고 환자의 선량기록이 병원 네트워크로 전달될 수 있도록 해야 한다.
- 장비 제작자는 형광투시장비를 사용하는 치료실에서 업무수행에 방해되지 않게 종사자를 보호할 수 있는 차폐 스크린을 개발해야 한다.
- 환자선량을 감축하는 모든 조치는 종사자 선량 또한 감소시키지만, 그 역은 성립하지 않는다.
- 형광투시진단기에 대한 정기적인 품질관리는 장비의 안전성을 보장한다.
- X선 발생장치를 사용하는 치료실에서는 종사자 보호를 위해 가능한 차폐 스크린 사용을 권장한다.

#### 3.1. 방사선방호의 기본 원칙과 방법

(25) 방사선방호의 기본 원칙은 정당화, 최적화, 선량한도 적용이다. 시간, 거리, 차폐는 최적화를 달성하는 방법의 핵심으로서 이 보고서 범위의 상황에 적용된다.

##### 3.1.1. 시간

(26) 방사선을 사용하는 시간은 최소화해야 한다. 최소화 목표가 형광투시 시간 이든 획득하는 영상이나 프레임 수이든 이 방법은 유효하다.

##### 3.1.2. 거리

(27) X선 선원으로부터 거리는 가능한 한 멀어야 한다(이 방법은 선량을 2-20배 또는 그 이상 감소시킬 수 있다)(소절 3.3.2의 그림3.3 참조).

##### 3.1.3. 차폐



(28) 차폐는 효과적으로 사용해야 한다. 이것은 종사자 방호에 가장 효과적인 방법(소절3.4.1 참조)이지만 형광투시에서 에서 유방, 난소, 눈, 갑상선과 같은 환자의 신체 부위를 보호하는 데는 제한적이다(남성 생식선 보호에는 효과적이다).

### 3.1.4. 정당화

(29) 방사선을 사용하는 많은 절차의 혜택은 정립되어 있고 의료계는 물론 사회 전반에서 인정되고 있다. 방사선 이용이 의학적으로 정당하다면, 이로부터 기대되는 혜택은 거의 항상 파악될 수 있고 때로는 정량화도 가능하다. 반면에, 부정적 결과의 위험은 평가하거나 정량화하기 어려운 경우가 많다. ICRP 103에서 ICRP는 정당화 원칙을 ‘방사선 피폭상황을 변화시키는 모든 결정은 해로움보다 이로우미 커야 한다.’라고 설명하고 있다(ICRP, 2007a). 또, ICRP 105(ICRP, 2007b)에서는 환자피폭의 정당화에는 다단계적 접근을 권고하고 있다. 특정 환자 개인에 대한 정당화에는 의뢰의사(방사선 절차를 의뢰하는 의사로서 대개 환자의 내과/외과 주치의)와 방사선 전문의(수행하는 검진에 책임 있는 의사) 모두 관계된다.

### 3.1.5. 최적화

(30) 일단 검사가 정당화 되면 다음에는 최적화해야 한다(즉, 효율성과 정확성을 유지하면서 더 낮은 선량으로 검사의 가능성). 방호 최적화는 검사 종류에 따라 그리고 관련된 모든 장비와 절차에 대해 일반화된다. 또한 개별 환자에 대해서는 최적화가 구체적으로 적용된다면 환자에 대해 선량을 줄이는 효과적인 방법으로 검사가 수행될 수 있는지를 고려하는 것이다(ICRP, 2007b).

## 3.2. 설비 요건

(31) 설비요건에 대한 관행은 세계적으로 다양하며 해당 당국이 정하는 요건을 준수한다. 일반적으로 모든 X선 발생장치는 규제기관의 감독 하에 국가 데이터베이스에 등록해야 한다. 등록이나 허가 절차에는 종종 발생장치의 사양과 그것이 사용될 방의 크기와 차폐에 대해 검토가 포함된다. 국제전기기술위원회 International Electrotechnical Commission(IEC)나 국제표준기구International Standards Organization(ISO)는 국제적 차원에서 X선발생장치에 대한 안전 요건을 제공을 한다. 많은 나라가 X선발생장치에 적용하는 국가표준도 가지고 있다. 이러한 요건은 종사자는 물론 피폭할 수 있는 일반인의 방호를 목적으로 하는데 자격이 있는 의료진 여부도 포함한다. 또 항상성 점검과 성능평가를 위한 주기적 품질관리

시험에 대한 요건도 포함한다. 형광투시장비에 대한 주기적 품질관리 시험은 장비의 안전과 최적 영상품질을 제공하는 능력에 믿음을 준다. 만일 장비가 바르게 작동하지 않는다면 불필요한 환자선량이나 품질불량의 영상을 얻게 된다. 국가요건이 어떠한든 시설 설계와 운영이 환자, 종사자 및 일반인에게 안전하도록 이를 따르는 것은 필요하다.

### 3.3. 환자와 종사자 방호의 공통 속성

(32) 환자 및 종사자 선량에 공통적으로 적용되는 영향 인자가 있다. 방사선 방호 조치는 환자선량을 감소시키고 동시에 종사자 선량도 줄일 수 있으나 그 역은 성립하지 않는다. 납치마, 고글 또는 차폐체를 사용으로 종사자의 선량을 줄일 수 있으나 환자선량 감소에 영향을 주지 않는다. 때로는 종사자가 안전하다는 판단이 환자 방호에 소홀하게 할 수도 있다. 따라서 특히 높은 선량 절차에서는 환자 및 종사자 선량의 최소화에 의학물리사의 개입과 감사가 필요하다. 종사자 방호에 대한 자세한 사항들은 제3.4절에서 다룬다.

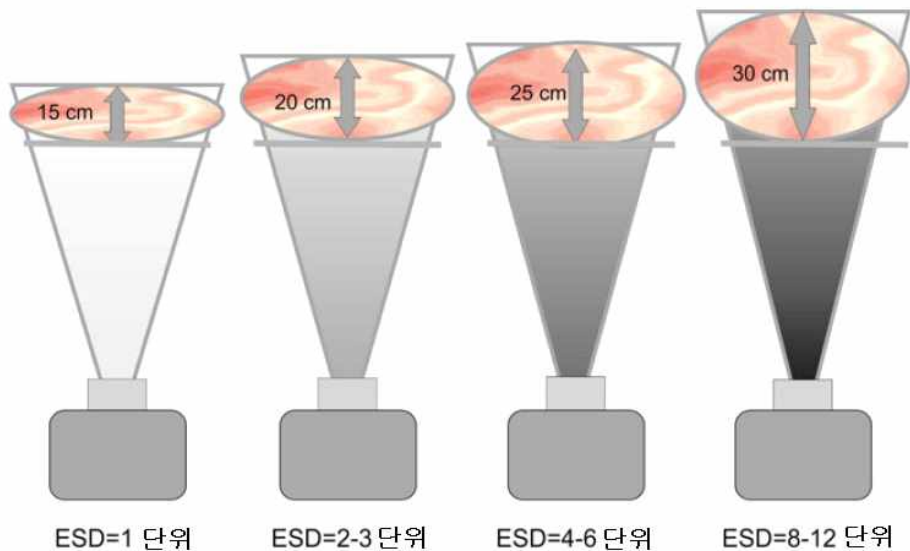


그림 3.1. 신체 부위 두께에 따른 동일한 영상 품질을 위한 입사피부선량 (ESD)의 변화.

### 3.3.1. 환자 고유 인자

#### 빔에 조사되는 신체부위 두께

(32-1) 대부분 형광투시장비는 ‘자동노출조절(AEC)’이라는 시스템을 통해 방사선 노출을 자동으로 조절한다. 이 전자 시스템은 센서를 통해 영상 수감부에 생성되는 신호량을 탐지하여 X선 발생장치의 노출인자(전형적으로 kV, mA, 펄스 시간)를 증가 또는 감소시켜 영상이 일정한 품질을 갖도록 한다. 빔에 조사되는 신체부위가 두텁거나 뚱뚱한 환자를 촬영할 때는 장치가 자동적으로 노출인자를 증가시킨다. 결과로 비슷한 품질의 영상을 얻지만, 환자선량은 증가하게 된다. 환자선량이 증가하면 방사선 산란의 증가와 함께 종사자 선량도 증가한다. 그림3.1은 신체 두께에 따른 피부 입사선량의 증가를 보이며, 그림3.2는 환자의 몸에 흡수되는 방사선의 양을 보인다.

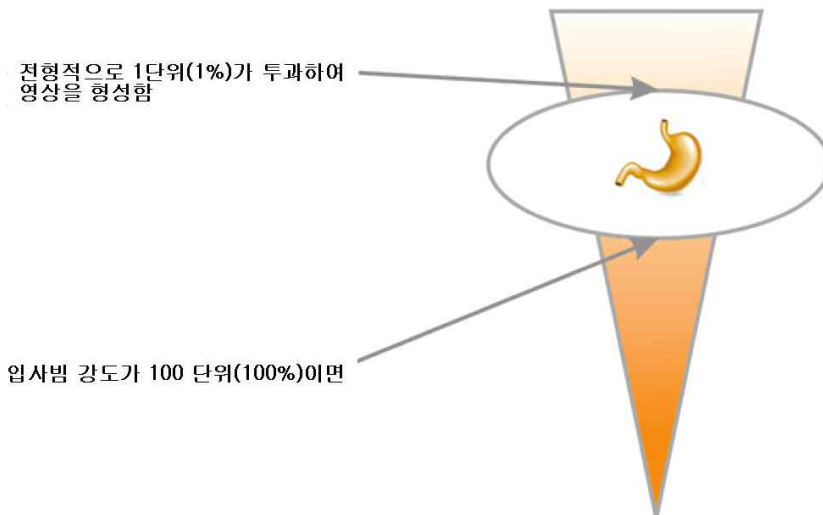


그림 3.2. 환자로 들어가고 환자로부터 나오는 방사선의 상대 강도.

#### 절차 복잡성

(33) 복잡성은 한 절차의 수행에 필요한 정신적, 육체적 노력이 해당된다. 복잡성 지표는 객관적 척도이며 매우 굵은 혈관이나 심하게 불규칙한 협착을 가로질러 안내와이어나 카테터를 배치하는 과정을 예로 들 수 있다. 복잡성은 환자 인자(체질, 해부학적 다양성)와 병소 인자(위치, 크기, 심각성)에 의존하며 치료자 훈련이나 경험과는 무관하다. 절차가 복잡할수록 간단한 절차에 비해 높은 선량을 요구하게 된다(IAEA, 2008).

### 3.3.2. 기술 인자

(34) 신체 표면에 입사되는 방사선량은 신체로부터 빠져나가는 선량과는 다르다. 신체는 X선을 지수적으로 감소시킨다. 즉, 방사선 강도는 인체를 통과하는 깊이 에 따라 지수적으로 감소한다. 일반적으로 입사한 방사선의 매우 적은 비율이 신체를 빠져나간다. 때로는 X선빔을 회전시켜 피부의 한 지점에 국부적으로 피폭하는 것을 피하는 효과를 얻는다. 다양한 중재절차로 인한 환자의 피부손상은 많이 보고되어 왔지만, 정형외과, 비뇨기과, 내과, 산부인과에서 수행된 절차로 인한 피부상해는 아직 보고되지 않았다(ICRP, 2001; Koenig 등, 2001; Rehani와 Ortiz López, 2006; Balter 등, 2010). X선관을 침상 상부 배열로 사용할 경우 1차 빔에 의해 손가락이 받는 선량은 침상 하부 배열에 통상 100배 이상 높다.

(35) 각 장비는 고유의 특성이 있기 때문에 사용자가 장비가 어떻게 기능을 하는지 이해하는 것이 매우 중요하다. 미국전기공업회(National Electrical Manufacturers Association)에서 제공하는 표준이 장비의 편차를 줄이는 역할을 하지만, 여전히 이해할 장비 특성이 있다. 현대 장비의 복잡성은 장비를 알아야 한다는 요건을 경시할 수 없게 만든다.

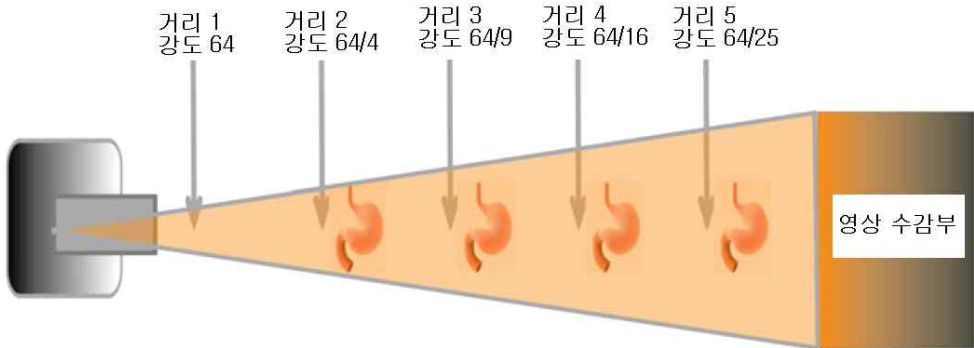
#### X선관과 영상수신부의 위치

(36) 선원-피부거리(SSD)는 선원(X선관 초점)과 환자의 피부 사이의 거리로 정의된다. SSD가 증가하면 환자 피부가 받는 방사선량은 감소하게 되는데(그림 3.3 참조) 이는 역자승 법칙의 영향 때문이다. 가능하면 환자를 X선관으로부터 멀리하여 SSD를 최대로 유지해야 한다(특정 장거나 구조를 갠트리의 회전중심에 위치시켜야 하는 경우에는 이 원리는 적용될 수 없다). 일단 SSD가 최대가 되는 지점에 환자를 위치시키고 나면, 영상 수신부(영상강화기 또는 평판검출기)는 가능한 한 환자로부터 가까운 거리에 위치시켜야 한다. 현대의 모든 형광투시장비는 형광투시 또는 투시촬영 중, 선원-영상수신부 거리(SID)의 변화에 따라 자동적으로 방사선 출력을 조절한다. 장비에 의한 방사선 출력 조절은 영상품질을 유지하기 위한 목적인데, 출력 조절은 곧 영상수신부에 방사선량 또는 환자선량의 조절을 의미한다(그림 3.4 참조). 간단히 말해서, SSD는 최대가 되어야 하며, 검출기는 환자와 가능한 한 가깝게 배치되어야 한다. 이것은 조직반응을 막는 데 중요한 방법이다. 영상의학과 외에서 대부분의 경우에 사용되는 이동형 C-arm 시스템은 X선관과 영상 수신부 거리가 일정하다. 이때는 그림 3.3에 보인 것처럼 SSD가 증가하면 환자의 피부선량은 역자승 법칙에 따라  $1/SSD^2$ 으로 감소하게 된다. 이러한 경우가 아니라면, 기하배열(SSD와 SID)은 복잡한 방식으로 환자의 입사피부선량에 영향을 미치게 된다. 환자를 선원으로부터 멀리 두어 검출

기가 환자에 근접하게 되면 피부선량이 감소하게 되지만 검출기 또한 선원으로 멀어지게 되어 피부선량을 증가시킨다. 이 경우에는 피부선량률은 역자승 법칙 보다는  $(SID/SSD)^2$ 에 비례하여 따라 변하게 된다.

가능하면 갱트리를 심하게 경사지게 하지 말 것

다른 조건이 동일하면 환자와 X선관의 거리가 피부선량률에 크게 영향을 미친다.



교훈: X선관을 환자로부터 가능한 한 멀리 둔다.

그림 3.3. 환자와 X선관 거리가 환자선량에 미치는 효과

다른 조건이 동일하면 영상수감부를 환자 가까이 둘수록 방사선 출력과 피부선량을 줄인다.

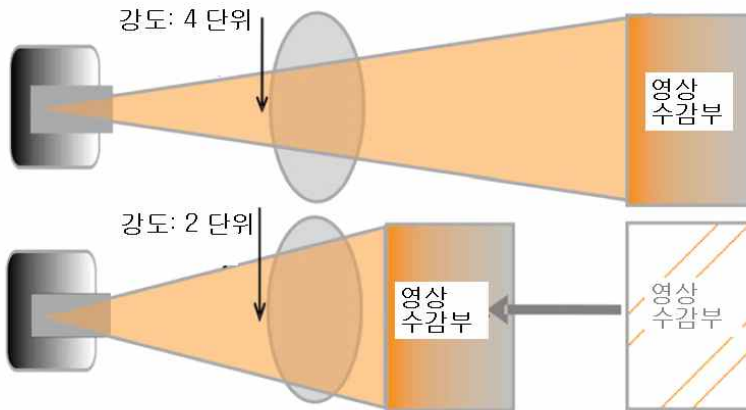


그림 3.4. 환자와 영상증배관 사이 거리가 환자선량에 미치는 효과

(37) 경사도가 큰 갠트리(입사각이 크거나 측면조사)는 PA(또는 AP) 투영에 비해 신체를 통과하는 방사선 경로의 길이가 늘어난다(그림3.5 참조). 더 두터운 조직을 통과해야하기 때문에 더 높은 방사선량률이 요구된다. 현대의 형광투시장비는 형광투시 또는 투시촬영이 진행되는 동안 촬영되는 부위의 두께에 따라 자동으로 방사선 출력을 조절한다(소절3.3.1 참조). 그 결과 갠트리 경사가 크거나 측면 조사에서는 방사선량은 자동적으로 증가하게 된다. 두께가 클 뿐만 아니라 SSD가 작아져 피부선량을 더욱 증가시키는 결과를 가져온다. 따라서 가능하면 경사가 심하거나 측면조사 갠트리 배열을 피해야 한다. 이러한 갠트리 배열이 필요하다면 이것이 높은 방사선량을 초래함을 알아야 한다.

PA배열로 얇은 투영과 경사 배열로 두터운 투영의 비교

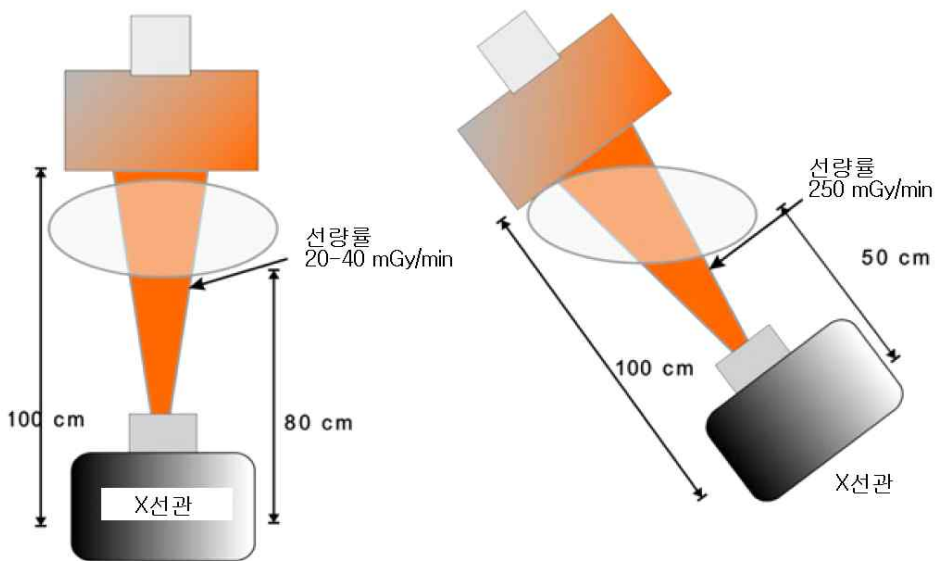


그림 3.5. 경사 투영이 환자선량에 미치는 효과. PA: 후방-전방 촬영.

### 불필요한 신체 부위는 X선빔 외에 들 것

(38) 촬영하는 신체 부위에만 방사선장을 제한하는 것이 좋은 관행이다. 불필요한 신체 부위가 방사선장에 들어오면 뼈나 기타 조직으로 인해 영상에 인공물이 발생될 수 있다. 또한 갠트리가 경사되거나 측면일 때 팔이 방사선장에 들어오면 한쪽 팔이 X선관에 매우 가깝게 놓일 수 있다. 이로 인한 팔의 선량은 피부상해를 초래할 정도로 높을 수 있다(그림3.6 참조). 환자의 팔을 절차의 일부로서 의도적으로 촬영할 필요가 없다면 환자의 팔은 방사선장에 외에 두어야 한다.

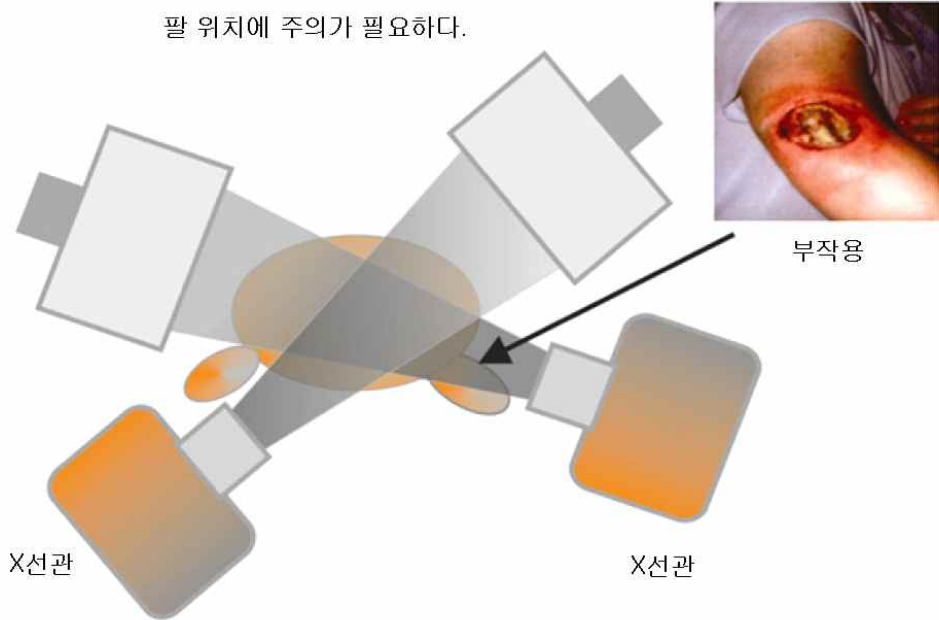


그림 3.6. 촬영에서 팔 위치에 주의 필요성. 방사선빔에 팔과 같은 신체부위가 추가되면 방사선 강도가 증가되고 팔에 높은 선량을 유발한다. 복잡한 절차에서는 팔 피부에 손상이 발생할 수 있다.

### 펄스형 형광투시진단의 낮은 펄스율 사용

(39) 펄스형 형광투시는 펄스형 X선을 사용하여 연속적 움직임이 나타나게 만든다. 만약 펄스 당 선량이 일정하다면 낮은 펄스율로 연속 형광투시에 비해 선량을 크게 줄일 수 있다. 펄스형 형광투시장비가 가용하다면 우선적으로 사용되어야 하며 펄스율은 절차 범위 내에서 최대한 낮아야 한다. 심장수술 절차가 아닌 대부분 경우 매초 10 펄스 이하가 적절할 것이다.

### 낮은 선량률 형광투시 사용

(40) 대부분 형광투시장비에서 펄스율과 형광투시 선량률 모두를 조절할 수 있다. 형광투시의 선량률은 펄스율과는 다르며 각각 독립적 인자로 조절할 수 있다. 선량율이 낮을수록 환자선량이 감소되나 영상 잡음은 증가한다. 가용한 형광투시 선량률 설정이 다양하면 적합한 영상품질을 제공하는 최소 선량률을 사용해야 한다.

## **콜리메이션**

(41) 관심 영역 안으로만 방사선장 크기를 제한하기 위해 X선을 콜리메이션 해야 한다. 콜리메이션은 조사되는 조직의 양을 줄이고 산란선을 줄여 질 좋은 영상 품질을 제공한다. 산란선은 방사선장 면적과 선형관계에 있다. 콜리메이션이 제대로 되지 않은 1차빔을 환자 외부에 조사할 경우 종사자 선량을 상당히 증가 시키게 된다. 치료를 개시할 때는 콜리메이터를 거의 닫은 상태로 관심영역을 수용하도록 영상 수신부를 배치한다. 이후 적절한 시야를 확보할 때까지 단계적으로 콜리메터를 연다. 새로운 디지털 형광투시장비에서 사용하는 가상 콜리메이션 (방사선을 사용하지 않고 콜리메이터를 배치)은 환자선량을 줄이는데 유용한 방법이므로 가용하면 항상 사용해야 한다.

## **영상확대는 불가피한 경우에만 사용**

(42) 전자적 확대는 환자의 입사 피부에 상대적으로 높은 선량률을 유발한다. 전자적 확대가 필요한 경우에도 최소의 배율로 사용되어야 한다.

## **형광투시, 영상취득 및 취득 영상 수 최소화**

(43) 영상 취득에 사용되는 선량률은 일반적으로 형광투시의 시네모드보다 최소 10배, 디지털감산 혈관촬영digital subtraction angiography 모드보다 100배 이상이다. 형광투시를 대체하기 위해 영상 취득을 사용해서는 안 된다.

(44) 영상의 수는 진단에 필요한 만큼 획득하고 진찰 소견이나 기기의 배치를 기록하기 필요한 만큼으로 한정해야 한다. 최종영상이 진찰 소견을 적절히 나타낸다면 추가적으로 형광투시 영상을 얻을 필요는 없다.

## **형광투시 시간 최소화**

(45) 형광 투시는 물체나 구조의 움직임을 관찰하는 데만 사용해야 한다. 연구의 검토, 협의 또는 교육에는 형광투시를 계속하기보다 최종정지 영상을 사용해야 한다. 연속 작동보다 짧은 형광투시를 여러번 사용해야 한다. 모니터 스크린을 보지 않을 때는 형광투시장비를 작동하지 않는 것이 중요하다.

## **환자선량 감시**

(46) 영상의학과 외에서 사용되는 형광투시 시스템에는 환자선량 감시기능이 거의 없다. 그러나 환자선량 평가를 위한 수단이 필수적이다. 따라서 장비 제작자는 환자선량지수를 나타내는 시스템을 개발할 필요가 있고 기록된 환자선량을 병원 네트워크를 통해 전달할 수 있어야 한다. 의료전문인은 새로운 기기를 구매



할 때 이를 요구해야 한다.

### 3.4. 종사자 방호 고유 사항

(47) 제3.1절의 원칙과 제3.3절에서 논의한 공통 인자 외에 차폐물을 사용함으로써 종사자 방호를 수행해야 하며 대부분 국가에서 규정에 따라 종사자의 개인감시가 요구된다.

(48) 그림 3.7은 환자 침상 주변과 근처에서 상대적 방사선 강도를 보인다. 주된 방사선원은 X선관으로 1차 X선에는 환자만 노출된다. 그러나 입사 X선이 환자나 기기부분 또는 환자 침상으로부터 산란된 방사선 ('2차방사선' 또는 '산란방사선'이라고 함)은 종사자 피폭의 주된 선원이다. 경험으로 볼 때 선량률은 X선관에 가까운 쪽 환자 측면에서 더 높다.

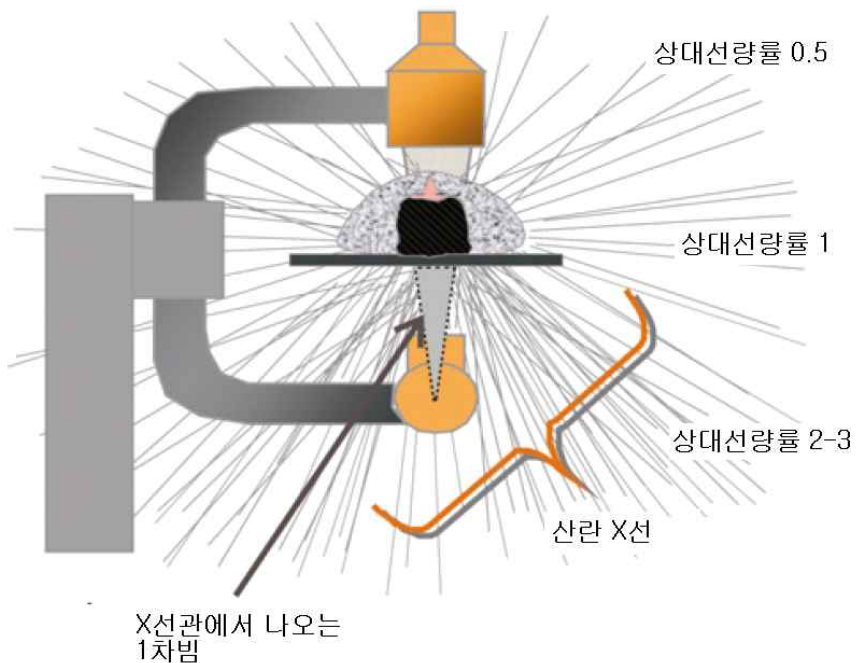


그림 3.7. 환자 침상 주변에서 방향에 따른 산란방사선 강도 분포.

### 3.4.1. 차폐

#### 납치마

(49) 납치마는 X선 촬영실에서 개인 차폐를 위한 가장 필수적인 요소이므로 실내의 모든 사람이 착용해야 한다. 납치마의 방호 수준은 X선 에너지에 따라 달라지며 X선 에너지는 X선관에 걸린 전압(kV)로 대표된다. X선이 조사되는 환자 신체 부위가 두꺼울수록 전압(kV)을 높게 설정한다. 높은 전압(kV)의 X선은 투과력이 더 높음을 의미하며 더 두꺼운 납이 필요하다는 것을 함축한다.

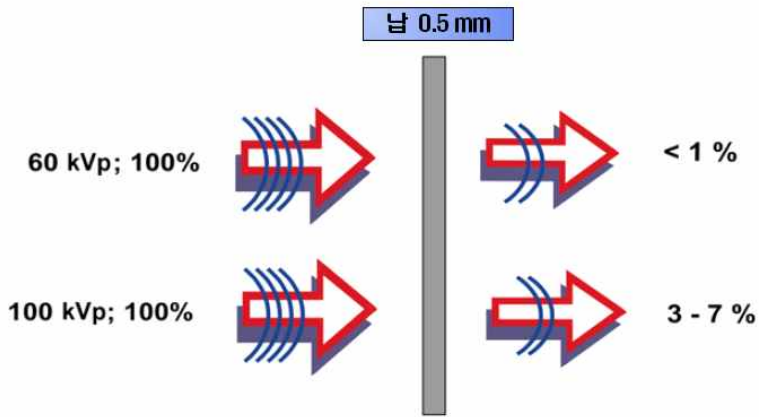
(50) 형광투시를 이용한 진단이나 중재적 시술절차를 수행하는 의료진은 산란 X선으로부터 조직과 장기를 보호하기 위해 납치마를 착용해야 한다(NCRP,1995). 투과율은 X선 에너지와 납치마의 납 등가 두께에 따라 달라진다. 산란선의 감쇠는 1차빔(입사빔)의 원리와 동일하다고 가정하여 안전에 대한 여유를 제공한다(NCRP, 2005).

(51) 그림3.8은 납 두께 0.5 mm와 0.25 mm에서 입사빔 강도에 대한 비율로서 상대적 투과율 값을 보인다. 아동처럼 체구가 작은 환자에 대한 절차에서는 납치마 등가두께 0.25 mm로 충분할 것이다. 그러나 하중이 많이 나가고 체구가 큰 환자의 경우에는 0.35 mm 납치마가 적합하다. 납 등가 0.25 mm 둘러싸기형 납치마가 이상적인데 이것은 등에는 0.25 mm, 앞에는 0.5 mm 두께를 가진다. 투피스형 납치마는 무게 분산에 도움이 된다. 장시간 작업해야하는 종사자가 무거운 납치마를 착용하면 문제가 될 수 있다. 실제로 수년간 납치마를 입은 종사자에게 납치마 무게로 인한 척추질환이 보고된 바 있다(NCRP, 2010). 최근에 개발된 납치마는 납 등가를 유지하면서 경량이며 끈과 어깨띠를 통해 무게를 분산하도록 디자인되었다.

#### 천장걸이 차폐

(52) 납이 함유된 플라스틱이나 유리로 된 천장걸이 스크린은 중재적 방사선 시술이나 순환기 내과 치료실에 일반적으로 사용되나 수술실에서 사용되는 형광투시장비에는 드물다. 차폐스크린은 납의 등가 두께가 0.5 mm 이상이어서 매우 효과가 크며 X선 강도를 90% 이상 줄인다. 치료실 형광투시 설비에서는 종사자 방호를 위한 차폐스크린 사용에 현실적인 어려움이 있지만 그 사용이 불가능하지는 않다. 장치 제작자는 임상 작업을 방해하지 않고 종사자 방호에 사용될 수 있는 있는 차폐스크린을 개발이 필요하다.

(a)



(b)

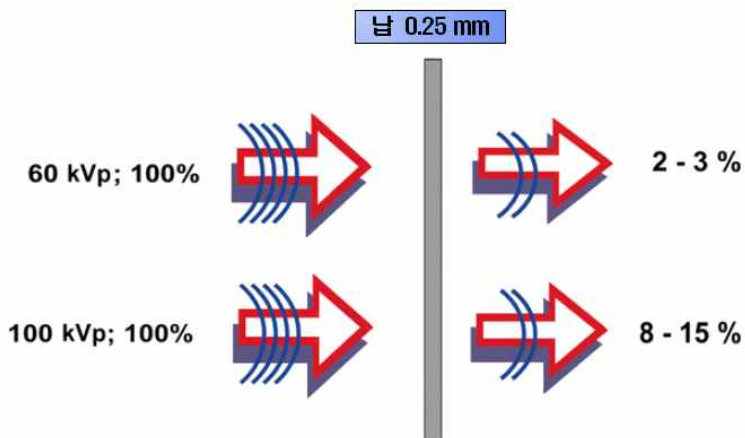


그림 3.8. 전압(kV)이 다른 X선의 투과백분율 (a) 납 0.5 mm, (b) 납 0.25 mm. X선빔 필터가 다르면 차이가 있을 수 있다. 출처 E. Vañó.

### 고정 차폐

(53) 고정 차폐는 침상에 붙인 납 함유 고무 커튼이나 이동형 받침대에 부착된 납유리 스크린 등이 포함된다. 납 함유 고무 커튼은 중재적 방사선 기술이나 순환기 내과에서는 일반적으로 사용되지만 치료실에 사용되는 형광투시 설비에서

는 찾아보기 어렵다. 따라서 장비 제작자에게 치료실에서 현실적으로 사용이 용이한 탈부착 차폐 커튼을 개발하도록 장려한다. 등가두께 0.5 mm 인 납 함유 고무 커튼은 차폐효과가 크므로 이를 사용해야 한다.

(54) 또한, 납유리 보안경이 다양한 유형으로 가용하다. 안경을 착용하는 사람을 위해 교정 렌즈를 사용하는 안경도 주문이 가능하다. 클립 형태로 안경에 거는 차폐체도 있고 방호면처럼 얼굴 전면을 덮는 차폐체도 있다. 납 안경은 측면에서 오는 방사선을 막기 위해 측면도 차폐가 있어야 한다. 이러한 방호 장비 착용을 강력히 권고한다.<sup>9)</sup>

### 3.4.2. 개인감시

(55) 종사자에 대한 방사선방호 원칙은 ICRP 75(ICRP, 1997)에서 논의되었고 ICRP 105(ICRP, 2007b)의 113항에서 반복한 바 있다. 이 소절에서는 감시가 필요한 사람과 방호조치에 대해 현실적 요점을 논의한다.

(56) 작업장에서 방사선 방호 관리의 실제 효과를 검증하기 위해 필름, 열형광 선량계, 광자극 선량계형 배지나 다른 적절한 선량계를 사용하여 방사선에 노출되는 종사자에 대한 개인감시를 수행한다. 어떤 방법이 적절한지에 대해서는 방사선방호 전문가나 의학물리사의 조언은 받아야 한다. 외부 방사선피폭에 대한 개인감시 프로그램은 방호 최적화를 위한 정보획득 목적과 종사자 피폭이 선량 한도나 주어진 활동에서 선량 한도를 초과하지 않았음을 확인하는 목적도 있다 (IAEA, 1999). 피폭을 합리적으로 낮게 유지하기 위한 프로그램은 작업장의 변화를 감지하고 선량을 최소화하는 작업관행을 알아내는 데 효과적으로 사용된다 (NCRP, 2000; IAEA, 2004). 1990년에 ICRP는 종사자의 선량한도를 20 mSv/y(정의된 5년 기간에 걸쳐 평균, 5년에 100 mSv)로 권고했다. 다른 한도는 표2.1에 보였다. 선량한도는 2007년 권고를 그대로 유지하였다(ICRP, 1991, 2007a). 선량을 달성가능한 낮은 수준으로 줄이기 위한 모든 합리적인 노력이 요구된다. 선량 수준에 대한 지식은 방사선방호 조치의 실행에 필수적이다.

(57) 혈관외과 의사에 의한 중재적 방사선 시술절차와 같은 높은 직무피폭 상황

---

9) <역주> 제2장에서 논의한 것처럼 눈 보호에 소홀했던 많은 의사에게서 백내장 또는 수정체혼탁이 발견되었다. 이 때문에 다음 소절에서 모두가 수정체 선량을 감시하는 대책도 논의되고 있지만 그보다 선행해야 하는 것은 보안경 착용의 필수화이다. 적절한 보안경을 착용한다면 수정체 선량을 따로 측정하기 위한 노력을 생략할 수 있다.

에서는 종사자에 대해 보다 견고하고 적합한 감시가 필요하다. 대부분 경우에는 납치마 안에 패용한 단일 선량계가 유효선량의 합리적 추정치를 제공하겠지만 선택적으로 목깃에 추가 선량계를 패용할 수도 있다.<sup>10)</sup> 눈의 수정체 선량을 측정하기 위한 더 나은 방법이 없을 때는 납치마 바깥에 X선관에 가까운 쪽 목깃(일반적으로 왼쪽 목깃)에 패용한 선량계가 머리와 눈의 수정체 선량의 근사치로 간주한다. 중재적 방사선 시술절차에 참여한 사람에게서 방사선 유발 백내장 보고가 증가함을 볼 때, 눈 선량 감시는 중요하다(Ciraj-Bjelac 등., 2010; Vañó, 등, 2010). 최근에는 수정체 선량 측정은 활발한 연구 분야가 되었고 많은 연구들이 수정체 선량 감시를 위한 개인선량당량 설정의 적합성과 수정체 선량계 개발을 위해 수행되고 있다(Domienik 등, 2011). ICRP는 실제 상황에서 합리적인 수정체 선량 평가치를 제공하는 방법을 수립하기를 권고한다. 영상의학과 외에서 사용되는 투시기법의 최근 수준을 반영하여 수정체의 선량을 감시하는 것은 혈관외과나 심장내과의 중재적 방사선시술 또는 이와 유사한 분야를 제외하고는 선택적이다. 손이 1차선에 불가피하게 노출되는 경우에는 손가락에 작은 반지형 선량계를 끼워 손가락 선량을 감시가 가능하다. 손가락 선량계는 림프절생검 sentinel lymph node biopsy(SLNB)과 같이 사용되는 방사성동위원소의 양이 작은 상황에서는 선택적이다. 그러나 손가락이 1차선에 노출되는 관행은 항상 억제해야 한다.

(58) 각 부서의 선량을 분석해야 하며 고 선량 및 비정상 상황에 대한 조사도 수행해야 한다(Miller 등, 2010). 종사자에 대한 불필요한 개인감시를 피하기 위해서는 직무피폭 감시에 대해 위험기반 접근을 도입해야 한다.<sup>11)</sup> 이 보고서에서

10) <역주> 납치마로 차폐되지 않는 머리 쪽이 산란선에 의해 상당한 선량을 받는 경우에는 목깃 선량계 추가 사용을 권고한다. 이 경우 종사자의 유효선량은 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$E \approx 1.64H_u + 0.075H_o$$

여기서  $H_u$ 는 납치마 아래 가슴에,  $H_o$ 는 납치마 위 목깃에 패용한 개인선량계가 지시한  $H_p(10)$  값이다. 출처: H. Jarvinen et al., Overview of double dosimetry procedures for the determination of the effective dose to the interventional radiology staff, *Radiation Protection Dosimetry*, 129(1-3), 333-339(2008).

11) <역주> 원론적으로는 일상적 피폭이 선량한도보다 충분히 낮을 것이 확실한 경우에는 종사자의 개인감시를 면제할 수 있다. 과거 ICRP는 선량한도의 3/10을 넘지 않음이 보장되면 개인감시가 필수는 아니라고 했다. 그러나 외부피폭 감시의 경우에는 TL선량계와 같은 개인선량계를 이용한 감시의 부담이 크지 않기 때문에 등록된 방사선작업종사자에 대해서는 모두 개인감시를 수행하는 것이 무방하다고 권고하고 있다. 우리나라 규제 관행도 모든 방사선관리구역에 출입하는 방사선작업종사자나 수시출입자에 대해 개인감시를 실시해야 한다고 규정한다. 방사선관리구역의 정의는 외부 방사선량률이 주당 0.4 mSv(연간 20 mSv 상당)를 초과할 우려가 있는 구역으로 규정하는데 ‘우려’가 없기 위해서는 기준의 3/10(즉, 연간 6 mSv)을 넘지 않아야 한다고 보는 것이 관례이다. 따라서 규정대로라면 연간 6 mSv를 넘지 않음이 보장되면 개인감시 대상에

다루고 있는 영상의학과 외에서의 형광투시 현행 수준에서는 혈관치료를 제외하면 납치마 안에 패용한 단일 선량계로 적절할 것이다. 실제에서 선량계를 사용하지 않는 일이 빈번하기 때문에 항상 선량계를 사용하도록 의식을 높일 필요가 있다.

(59) 개인감시 요건에도 불구하고 여전히 많은 병원에서 선량계를 불규칙하게 사용하거나 사용하지 않는 것이 주된 문제이다(Miller 등, 2010). 작업장의 관리구역 내 종사자의 방사선 피폭을 감시해야 한다. 관리구역은 정상 작업 조건에서 일반적으로 피폭 관리를 위해 그리고 잠재피폭의 정도를 방지하거나 제한하기 위해 특정 방호수단이나 안전규정을 필요로 하는 장소로 정의된다. 방호 서비스는 전문가 조언을 제공하고 필요한 감시대책을 마련해야 한다(ICRP, 2007a). 관리구역의 종사자나 수시로 출입하여 유의한 직무피폭을 받을 수 있는 모든 종사자에 대해서는 개인감시를 수행해야 한다. 개인감시가 적합하지 않거나 또는 어려운 경우에는 종사자의 직무피폭은 작업장 감시 결과와 종사자의 피폭 위치와 시간에 대한 정보를 기반으로 평가해야 한다(IAEA, 1996). 추가적으로 개인선량계를 정기적으로 사용하지 않는 종사자의 직무피폭을 평가할 수 있도록 수동형 선량계나 전자선량계를 사용한 간접적 방법(예를 들어 C-arm 장치에 부착된 선량계) 사용을 권고한다.

### 3.5. 참고문헌

- Balter, S., Hopewell, J.W., Miller, D.L., et al., 2010. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology* 254, 326-41.
- Ciraj-Bjelac, O., Rehani, M.M., Sim, K.H., et al., 2010. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 76, 826-34.
- Domienik, J., Brodecki, M., Carinou, E., et al., 2011. Extremity and eye lens doses in interventional radiology and cardiology procedures: first results of the ORAMED project. *Radiat. Prot. Dosim.* 144, 442-47.
- IAEA, 1996. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA Safety Series No. 115. International Atomic Energy Agency, Vienna.

---

서 면제되지만 ICRP 권고에 따라 유의한 피폭을 받는 모든 방사선작업종사자에 대해 개인감시를 요구하는 것이 현재의 규제관행이다.

- IAEA, 1999. Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation. IAEA Safety Guide RS-G-1.3. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 2004. Individual Monitoring. IAEA-PRTM-2 (Rev.1). International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 2008. Establishing Guidance Levels in X-ray Guided Medical Interventional Procedures: a Pilot Study. IAEA Safety Report Series 59. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).
- ICRP, 1997. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75. Ann. ICRP 27(1).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2).
- ICRP, 2007a. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
- ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(6).
- Koenig, T.R., Wolff, D., Mettler, F.A., Wagner, L.K., 2001. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures. I. Characteristics of radiation injury. *AJR Am. J. Roentgenol.* 177, 3-1.
- Miller, D.L., Vanñó, E., Bartal, B., et al., 2010. Occupational radiation protection in interventional radiology: a joint guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 21, 607-15.
- NCRP, 1995. Use of Personal Monitors to Estimate Effective Dose Equivalent and Effective Dose to Workers for External Exposure to Low-LET Radiation. NCRP Report No. 122. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NCRP, 2000. Radiation Protection for Procedures Performed Outside the Radiology Department. NCRP Report No. 133. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NCRP, 2005. Structural Shielding Design for Medical X-ray Imaging Facilities. NCRP Report No. 147. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NCRP, 2010. Radiation Dose Management for Fluoroscopically Guided

Medical Procedures. NCRP Report No. 168. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.

Rehani, M.M., Ortiz López, P., 2006. Radiation effects in fluoroscopically guided cardiac interventions – keeping them under control. *Int. J. Cardiol.* 109, 147–51.

Vanñó, E., Kleiman, N.J., Duran, A., et al., 2010. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat. Res.* 174, 490–95.



## 제4장

# 임상 실무에서 구체적 조건

- 혈관내 동맥류교정술(EVAR), 신장혈관성형술, 장골혈관성형술, 요관도관설치, 내시경역행적 췌담관조영치료술(therapeutic endoscopic retrograde cholangio pancreatography(ERCP), 담관도관설치 및 배액과 같은 절차에서 피부선량은 1 Gy 를 초과할 잠재성을 내포한다.
- 환자와 종사자를 위한 방사선량 관리는 도전이며 효과적인 방사선방호 프로그램을 통해서만 충족될 수 있다.
- 의학물리사의 참여나 자문을 필요로 하는 기술사항이 있다. 이 보고서에는 방사선량 평가, 임상 업무의 선량 관리, 다양한 방사선량의 이해, 위험의 평가 및 소통을 포함한다. 효과적인 방사선방호 프로그램은 임상 전문가와 방사선방호 전문가의 팀워크가 필요하다.

### 4.1. 혈관치료

(60) 최근 혈관수술의 패러다임은 개복수술에서 중재적 혈관치료로 이동해 왔다. 혈관 내 치료는 일반적으로 형광투시 형태의 영상 유도를 필요로 한다. 따라서 혈관외과의와 환자의 방사선피폭이 증가하였다. 동맥류 교정술(EVAR) 과정의 방사선피폭은 말초혈관 성형술과 같은 말초동맥 중재치료보다 더 높은 것으로 보고되었다(Ho 등, 2007).

(61) 동맥류 교정술(EVAR)은 복부 대동맥류를 위한 선택적 치료에서 널리 채택되고 있고 파열된 복부 대동맥류 치료에도 관심을 받고 있다. 2001년부터 2006년 사이 미국 입원환자 표본 데이터 연구를 보면 파열된 복부 동맥류 치료 퇴원이 27,750건 있었고 그중 11.5%가 동맥류 교정술(EVAR)로 치료를 받았다(McPhee 등, 2009). 전체 복부 대동맥류 파열 발생률이 일정할 때 동맥류 교정술(EVAR) 사용은 시간이 지나면서 증가했다(2001년에 5.9%에서 2006년에 18.9%로). 동맥류 교정술(EVAR)은 연간 미국에서 수행된 동맥류 치료의 대략 절반을 차지한다(Cowan 등, 2004). 기술이 진화할수록 더 많은 환자가 분지형 스텐트 치료와 같은 복합적 치료를 제공받을 것이다.

(62) 치료절차는 국가마다 상이하지만 많은 병원에서 장기적 중심정맥 접근선 배치는 형광투시 유도를 요구한다. 일부 기관에서는 신장혈관 성형술과 장골 혈관성형술 또한 혈관외과 의사에 의해 수행된 바 있다(Miller 등, 2003a,b).

#### 4.1.1. 방사선량의 수준

##### 환자선량

(63) 혈관 내 치료 절차는 긴 투시시간을 요구하므로 환자와 종사자가 방사선 피폭이 높다. 동맥류 교정술(EVAR)에서 입사피부선량은 전형적으로 0.85 Gy로서 0.51-3.74 Gy 범위에 있다 (Weerakkody 등, 2008). 복부 대동맥류 치료의 평균 선량면적곱(DAP)은 1516 Gy $\text{cm}^2$ 로 알려졌다 (범위 520-2453 Gy $\text{cm}^2$ ) (Weiss 등, 2008). 신장동맥류 질환으로 동맥류 교정술(EVAR)을 받은 환자는 평균 유효선량은 8.7-27 mSv 범위에 있다(Geijer 등, 2005; Weerakkody 등, 2008). 동맥류 교정술(EVAR) 후 환자에 대해 동맥류가 배제된 채로 있는지 확인하기 위해 계속 추적해야 하고 현재 그 표준 검사가 다절편 CT로 되어 있다. 그러므로 이러한 환자는 일생동안 정규적이고 반복된 방사선피폭을 받으며, 그것이 누적영향을 미칠 수도 있다. 예로서 후속추적 첫해에 유효선량이 79 mSv로 평가된 바 있다(Weerakkody 등, 2008).

(64) 중재적 방사선 시술절차에 방사선 유발암 위험과 함께 피부상해의 가능성이 있으며 이러한 상해는 형광투시 유도 절차가 시행된 후 보고되었다(ICRP, 2001). 아직 동맥류 교정술(EVAR)로 인한 피부상해에 집중된 보고는 없으나 의과적으로 긴 치료와 투시시간을 요구하는 복합적 절차를 수행하고 있으므로 방사선 상해 위험은 증가할 것이다(Weerakkody 등, 2008). 최근의 한 연구는 환자의 3분의 1까지가 일시적 홍반의 대략적 문턱선량인 2 Gy 이상의 입사피부선량을 받을 수 있다고 지적했다(Weerakkody 등, 2008).

(65) 복부 대동맥류 치료의 형광투시법 시간은 21 분(범위 12-24 분)으로 보고되고 있으며(표4.1 참조) 평균적으로 표준투시 92%, 활동투시 8%가 사용되었다 (Weiss 등, 2008). Weiss 등이 사용한 기술에서는 전체 형광투시 시간의 대략 49%는 정규 시야로, 51%는 확대 시야로 사용한다. 최대 피부선량은 형광투시 시간보다는 주로 선량면적곱(DAP)나 체중지수(BMI)와 상관을 보였다. 뚱뚱한 환자의 경우 최대 피부선량이 그렇지 않은 환자선량의 2배(각각 1.1 Gy vs. 0.5 Gy) 정도였다(Weiss 등, 2008).

(66) 정맥접근 절차로부터의 방사선량은 일반적으로 낮아서 전형적 피부선량이 1 Gy 미만이다. 그러나 이러한 환자는 종종 비교적 단기간 내에 다수 절차를 반복하게 된다(Storm 등, 2006).

(67) 혈관치료 절차로부터 전형적 환자선량은 표4.1에 보였다.

(68) 대부분 절차를 수용하는 유효선량은 0-35 mSv 범위를 가지며 외관상으로도 의미를 유지한다; 35 mSv가 타당성 갖지는 않는다.

### 종사자 선량 수준

(69) 동맥류 교정술(EVAR)에서 종사자 선량에는 큰 차이가 있다. 외과 의사가 동맥류 교정술(EVAR)로 매년 손에 받는 등가선량은 0.2-19 mSv 범위에 있다(Lipsitz 등, 2000; Ho 등, 2007). 이러한 차이는 일부에서는 독립형 또는 침상 고정형 납차폐를 추가로 사용한 것으로 보인다. 연간 150 절차의 업무에 대해 방호장구를 고려하여 연간 전신 선량(유효선량)은 약 0.2 mSv, 눈 등가선량은 대략 1 mSv 인 경향이 있다(Ho 등, 2007). 수술시 외과 의사의 전신, 눈 및 손의 평균 선량은 각각 7.7, 9.7 및 34.3  $\mu$ Sv/procedure 이다(Ho 등, 2007).

## 4.1.2. 방사선량 관리

(70) 방사선량 수준이 위와 같은 많은 환자가 방사선피폭을 수반하는 후속 검사나 절차를 필요로 하기 때문에 효과적인 방사선 방호 프로그램을 통해서만 조건을 만족시키는 것은 도전이다.

### 환자선량 관리

(71) 표준 신장 동맥류 교정술(EVAR)동안 방사선원(X선관)을 환자에 대해 빈번히 이동시키므로 환자의 조직반응 또는 확률론적 영향의 위험은 최소화 된다(제2장 참조). 천공형 또는 분지형 스텐트 설치하는 대동맥의 많은 내장 분지에 관삽입술과 스텐팅을 요구한다. 이 조작은 길어질 수 있지만 X선관 배치 변경은 드물다. 그러므로 이러한 절차 특히 4혈관 천공 접목 절차에서 조직반응이나 확률론적 영향 위험이 더 높다. 환자는 상응하는 조언을 들어야 한다. 내출혈 치료를 위한 반복 절차의 필요와 일생 동안 이러한 장치에 대한 감시에 필요한 CT촬영은 더 많은 노출을 초래한다.

(72) 형광투시 유도 정맥접근 절차는 중재적 방사선 사용절차에서 공통적이다.

정맥 접근 한 사례로 인하여 전형적 방사선량은 상대적으로 낮아서 모든 연구에서 피부 영향(조직반응)의 문턱선량 미만으로 보고되지만 종종 이러한 절차가 단기간에 동일한 환자에서 반복된다. 경험이 풍부한 치료자가 실행한 정맥접근 절차에서는 방사선량이 낮은 증거가 있다. 그러므로 합리적으로 잘 훈련된 치료자가 수행하는 형광투시 유도 정맥접근 절차가 피부손상을 우려에 충분한 선량을 줄 가능성은 낮다. 그렇지만 치료자는 확률적 영향의 잠재적 위험 포함하여 보건에 미치는 방사선의 누적효과를 염두에 두어야 한다(Storm 등, 2006).

(73) 제3장에서 설명한 선량관리 조치는 혈관외과 절차에도 일반적으로 적용된다.

### 중사자 선량 관리

(74) 동맥류 교정술(EVAR)에서 여러 구체적 기술과 치료자 관련 인자가 다음처럼 전체적 방사선량을 줄인다(Ho 등, 2007).

- 치료자는 스텐트 배치 직전에 접목위치를 확인하기 위해 시네마토그래피를 한번 수행할 것을 목표로 해야 한다. 해부학적 평가하거나 스텐트 접목 위치를 계획하기 위해 초기 시네마토그래피를 여러번 수행하는 것은 거의 필요하지 않고 환자선량과 직무피폭만 증가시키므로 피해야 한다.
- 손은 방사선빔 외에 두어야 한다. 납 함유 치료 장갑은 손이 X선 1차빔에 들어가면 손 방호에 유용하지 않다. 다른 방호 도구는 효과가 있지만 의료진에게 물리적 불편을 초래하고 절차 효율을 저하시키는 등의 단점이 있다. 방사선을 15-30% 감소시키는 멸균된 치료용 방호장갑이 가용하지만 연구결과 손이 X선 1차빔에 들어가면 몇 가지 이유 때문에 방호효과가 미미한 것으로 나타났다. 장갑 안에서 왕복 산란되는 X선이 손 선량을 증가시킨다. 나아가 형광투시장비의 자동 밝기조정 영역 내에 흡수체가 들어가면 X선 기술인자를 증가시켜 손이 더 높은 선량률에 노출된다. 이런 이유는 안전하다는 잘못된 인식 때문에 1차빔에 손이 더 들어가는 현상과 함께 장갑이 주는 방호효과를 상쇄하고 남는다. 따라서 추가적 새로운 안전장구를 개발할 필요가 있다. 환자 안전에 긴요하지 않다면 치료자 손은 X선 1차빔 외에 두기를 권고한다(Schueler, 2010). 절차에 따라 치료자의 키, 방사선-감쇠형 외과용 커튼의 위치와 사용이 환자 피폭의 증가가 없거나 미미하면서 중사자 피폭을 크게 줄이는 것으로 입증되었다(King 등, 2002).
- 침상측면 납차폐와 이동식 차폐체 사용은 의료진의 유효선량을 전반적으로 줄인다.

표4.1. 혈관 외과적 절차에서 전형적 환자선량 준위(근사치)

절차	환자의 상대 평균 유효선량 mSv		환자의 상대 평균 방사선량 <sup>†</sup>	보고된 값				참고문헌 <sup>‡</sup>
	0	35		투시시간 (분)	입사피부 선량 (mGy)	면적선량곱 (Gy $\cdot$ cm <sup>2</sup> )	유효선량 (mSv)	
혈관내대동맥류치료			F, G	21	330-850	60-150	8.7-27	a,b
정맥접근절차			B	1.1-3.5	8-24	2.3-4.8	1.2	c
신장/내장 혈관확장술 (스텐트/스텐트 무)			G	20.4	1442	208	54	d,e
장골 혈관확장술 (스텐트/스텐트 무)			G	14.9	900	223	58	d,e

† A, <1 mSv; B, 1-<2 mSv; C, 2-<5 mSv; D, 5-<10 mSv; E, 10-<20; F, 20-35 mSv; G, >35 mSv, 유효선량 기준

‡ (a) Weerakkody 등, 2008; (b) Geijer 등, 2005; (c) Storm 등, 2006; (d) Miller 등, 2003a; (e) Miller 등, 2003b.

(75) 위에 언급한 특정 항목뿐만 아니라, 제3장에서 설명한 장비 인자(예: 빔 콜리메이션, 필터사용, 정기적 장비정비, SID 최소화, 시야 크기) 모두가 혈관치료에서 직무피폭을 감소시킨다.

## 4.2. 비뇨기학

(76) X선은 약 100 년 동안 신장과 요로 질환을 진단하는 데 사용되어 왔다. X선은 요로를 가시화함으로써 소변 흐름을 막는 신장결석 또는 종양을 탐지할 수 있다. 경정맥 신우조영술(또는 '경정맥 요로조영술'로 불림)과 같은, 요로의 직접적 증강 없는 절차 또는 아요다인(I) 조영제를 정맥 투여하는 절차를 방사선과 전문의가 통상적으로 실행한다. 비뇨기계 안에 조영제를 직접 투여할 때는 비뇨기과 의사가 더 능동적으로 참여해야 한다. 과거에는 방광조영술, 역행성 신우조영술 및 배뇨 방광요도조영술은 방사선과에서 수행되는 절차였다. 방광요도조영술은 요도 조영제로 방광을 채우기 위해 요도에 도관을 삽입하는 절차를 시행하면서 투시장비로 세부적인 해부학적 구조나 배뇨의 역동성을 연구하기 위해 대조도 높은 영상을 획득한다. 요즘은 경정맥 신우조영술은 거의 실행되지 않고 CT로 대체되었다. 경피신절석술, 신절개술, 요관 스텐트 설치, 결석 추출 그리고 종양 제거와 같은 많은 절차 때문에 비뇨기과 전문의가 형광투시장비를 쉽게 이용할 필요성이 생겼다(때로는 치료실에서도).

(77) 나아가 지난 일십년 사이 쇄석술[체외 충격파 결석파쇄술(ESWL)]은 신장과 수뇨관의 결석치료를 위한 통상적 절차가 되었다. 쇄석술을 위해 개발된 대부분 장치는 결석 위치를 찾기 위해 X선 또는 초음파를 이용한다. 체외에서 발생한 초음파나 충격파가 피부와 조직을 뚫고 들어가 결석을 만날 때까지 이끌어서 찾는다. 결석은 모래입자처럼 쪼개져 소변을 통하여 쉽게 배출될 수 있게 된다.

(78) 비뇨기 및 신장 연구는 모든 형광투시 유도 진단 및 중재 절차의 16%와 1.6%를 각각 차지하는데 평균 유효선량은 비뇨기 절차에서 2 mSv, 신장 절차에서 5 mSv를 보인다. 집단선량에 대한 총 기여는 대략 5% 정도이다(NCRP, 2009).

(79) 비뇨기학에서 방사선방호를 다루는 대부분 출판물은 종사자의 방사선 위험에 초점을 맞췄고 비뇨기과 절차에서 환자의 방사선량을 평가한 연구는 거의 없

다. 환자는 일생동안 한두 번 방사선절차를 거치는데 비해 종사자는 여러 해 동안 피폭하는 것은 사실이지만 통상적으로 종사자는 환자에 투여되는 방사선 세기의 기껏해야 1%에 해당하는 산란방사선에 노출됨을 기억해야 한다. 나아가 종사자는 납치마로 방호 받는데 이는 전형적 1% 값을 다시 90% 정도 줄인다. 절차 당으로 보면, 종사자 선량은 환자가 방사선량의 대략 0.1%로 계산된다.

## 4.2.1. 방사선량 수준

### 환자선량

(80) 비뇨기과 절차로부터 전형적 선량 값을 표4.2에 나타내었다.

(81) 급성 신장결석 한 건에 대해 수행되는 방사선학적 연구는 평범한 신장-요관-방광(KUB) 복부필름 1-2회, 복부-골반 CT 1-2회, 추적 첫 해에 정맥내 신우조영술을 포함하는 일련의 방사선학적 절차를 포함한다. 연구로 인한 총 유효선량은 20 mSv부터 50 mSv를 넘기도 한다(Ferrandino 등, 2009). CT 사용 증가로, 많은 요로결석증 환자가 급성 결석사건 과정과 관리에서 상대적으로 높은 선량을 받는 증거가 있다 (Mancini와 Ferrandino, 2010). 그러나 진단부터 추적까지 선량관리 기법의 적절한 사용으로 상당한 선량을 감축할 수 있다.

(82) 더 높은 방사선 피폭에도 불구하고, CT는 세계적으로 요로 평가를 위해 사용하는 전통적 투과촬영과 경정맥 요로조영술을 대체하고 있다(ICRP, 2007a). 전통적 조영술과 CT 요로조영술을 비교할 때, 선량 감축 전략을 적용해도 CT 쪽 유효선량이 상당히 높은 증거가 있다(Nawfel 등, 2004; Dahlman 등, 2009). 이러한 사실은 촬영 프로토콜을 수립할 때 환자선량 평가치를 고려해야 함을 시사한다 (Nawfel 등, 2004; Eikefjord 등., 2007; ICRP, 2007a). 여러 연구에서 급성신장통증 환자의 검사를 위해 CT가 배설성 요로조영술보다 더 정확하며, 높은 진단 정확도 때문에 선호된다(Tack 등, 2003; Eikefjord 등, 2007). 과거 십년동안 적절한 CT 신장결석 프로토콜의 채택을 통하여 중요한 선량 감소가 가능하다는 점은 증명이 되었다. 적절한 CT 신장결석 프로토콜을 도입함으로써 상당한 선량감축이 있다는 증거가 지난 10여년 동안 발견되고 있다. 낮은 선량 신장 CT 프로토콜의 평가에 초점을 맞춘 연구는 방사선량이 배설성 요로조영술에서와 비슷하다는 결론을 얻었다(Tack 등, 2003; Larsen 등, 2005). 달만 등 (2009)은 CT 요로조영술을 받는 남, 여 환자의 유효선량이 각각 1997년도에 29.9 mSv와 22.5 mSv에서 2008년 11.7 mSv와 8.8 mSv 로 되어 60% 정도 줄

었다고 보고했다. 모든 연구는 용인할 수준의 영상품질에서 괄목할 선량감축이 가능하다고 결론지었다. 방사선방호의 최적화 원칙을 적용한 뒤에, 임상 지시에 근거하여 기술변수를 맞추는 것이 중요하다(ICRP, 2007a). 그러므로 기술의 향상과 임상 수준에서의 방호최적화와 함께, 선량감축 경향이 미래에도 계속될 것으로 예상된다.

(83) 형광투시와 방사선촬영을 통한 체외충격파쇄석술(ESWL) 환자의 유효선량은 통상 1 mSv 미만부터 2 mSv 이며 50-78%가 형광투시에서 비롯된다(Huda 등, 1989; MacNamara와 Hoskins, 1999; Sandilos 등, 2006; UNSCEAR, 2010). 그러나 ESWL의 선량은 항상 신장-요관-방광(KUB) 및 경정맥 요로조영술 치료 전, 후에 발생하는 선량에 추가됨을 인지해야한다(Sandilos 등, 2006). 기타 비뇨기과 절차에서 전형적인 유효선량 범위는 복부 투과촬영에서 1 mSv 미만, 신루술은 약 7 mSv 이다.

(84) 신루관 설치의 즐거움 배액을 위해 신장의 수뇨계에 바늘을 삽입한다. 이 절차는 일반적으로 형광투시 10-15분(보고 범위: 1-56분)을 요구하며 상대적으로 높은 선량을 주는데 특히 관이 경사지게 될 때 그렇다(NCRP, 2000; Miller 등, 2003a). 일부 환자의 경우, 신루관 배치가 바른 지 확인하기 위한 반복 검사가 필요할 수도 있다. 신루설치술 절차로부터 전형적인 유효선량은 7.7 mSv이고 그 범위는 3.4-15 mSv이다(Sandilos 등, 2006; UNSCEAR, 2010).

### 종사자 선량 수준

(85) 경피적 신장 쇄석술에서 비뇨기과 전문의의 평균 유효선량은 12.7  $\mu$ Sv/절차이다 (Safak 등, 2009). 전형적 평균 주당 5 절차를 수행한다면 비뇨기과 전문의 유효선량이 3 mSv/년 을 의미한다. 이 업무에서 손가락 선량은 8-25 mGy/년 (30-100  $\mu$ Gy/절차), 머리와 목 부위 선량은 5-10 mGy/년(20-40  $\mu$ Gy/절차)이다 (Hellawell 등, 2005). Bush 등(1985)은 평균 형광투시 시간 25분(6-75분 범위)동안 방사선과 전문의의 평균선량이 납치마 위 목깃 레벨에서 0.10 mSv/절차 (범위: 0.02-0.32 mSv/절차)라고 보고했다. C-arm 형광투시를 돕는 간호사, 방사선사radiological technologist/radiographe 그리고 마취과 의사의 선량은 각각 0.04 mSv/절차 (범위: 0.01-0.11 mSv/절차), 0.04 mSv/절차(범위: 0.01-0.11 mSv/절차)과 0.03 mSv/절차(범위: 0.01-0.1 mSv/절차)이다(Bush 등, 1985). 비뇨기과 전문의의 손가락 선량은 일반적으로 0.27 mSv/절차(범위: 0.10-2 mSv/절차)이다(Bush 등, 1985; Kumari 등, 2006).



(86) X선관과 영상 검출기 위치에 따라서, 관절이하 팔·다리의 선량은 126-167  $\mu\text{Sv}/\text{절차}$  혹은 이보다 높을 수 있다(Hellawell 등, 2005; Safak 등, 2009). 그러나 연간 예상 업무를 250회라고 가정한다면 피폭 선량은 약 40 mSv로서 손발에 대한 선량한도인 500 mSv에 비해 낮다(ICRP, 2007b).

(87) 비뇨기과 전문의 머리와 목의 부위의 보고된 선량 수준(0.10 mSv/절차, Bush 등, 1985))을 기반으로 하면 전형적 업무에서 250 회/년에서 방호도구를 착용하지 않는 경우 수정체 선량은 25 mSv에 도달할 수 있으며 이는 최근 중재적 심장 내과 의사에서 관찰된 수정체 혼탁에 관한 보고를 고려할 때 방호가 필요하다(Ciraj-Bjelac 등, 2010; Vanňó 등, 2010). 적절한 방호수단을 사용하면 조직반응을 방지할 정도로 직무피폭을 충분히 낮출 수 있다. 비뇨기과 전문의의 평균 등가선량은 절차당 손가락 33  $\mu\text{Sv}$ , 수정체 26  $\mu\text{Sv}$ , 전신 유효선량 12  $\mu\text{Sv}$ 이다. 전형적 업무로 250절차/년 를 고려하면 개인 종사자 유효선량은 3 mSv로서 종사자 선량한도보다 충분히 낮다.

(88) 위에서 언급된 방사선방호 조치는 X선이 관련된 모든 비뇨기과 및 신장 절차에 유효하다.

## 4.2.2. 방사선량 관리

### 환자선량 관리

(89) 비뇨기과 의사는 X선 형광투시를 필요로 하는 비뇨기 절차가 환자에게 주는 임상적 이득과 수반되는 방사선 위험을 견뎌보는 것이 필요하다. 이는 ICRP의 정당화 원칙과 일맥상통한다. 일단 정당화되면, 이 간행물에서 소개하는 기법이나 기타 기법을 이용하는 ICRP의 최적화 원칙에 따라 그 절차를 수행하는 것은 치료자 책임이다. 가장 효과적인 방사선방호 요건은 불필요한 절차나 검사를 피하는 것이다.

(90) 특정 영상화 기술, 특히 주목되는 디지털 영상수감부를 사용하는 기기는 영상품질은 유지하면서 환자선량은 유망하게 줄이는 것으로 나타난다. 스크린-필름을 이용한 투과촬영보다 광자극발광소자를 사용할 때 유도방광조영술에서 상당한 선량 감소가 보고되었다 (Zoeller 등, 1992). 스크린-필름 투과촬영에는 광계시기와 함께 77 kVp 관전압이 사용되었다. 광자극발광소자를 사용할 때는 충분한 영상품질을 내기 위해 노출인자로 81 kVp, 6.4 mAs가 사용되었다.

(91) ESWL에서 방사선피폭은 요석 부하에 따라 증가한다. 요석의 크기가 클수록 치료시간이 길어지며 X선 노출시간도 늘어난다. 진단 및 후속조치에서 일반적으로 신장, 요관, 방광(hemi-KUB)을 촬영한다면 ESWL 절차의 방사선 피폭을 상당히 줄일 수 있다(Talati 등, 2000).<sup>12)</sup> 또한 요석을 모니터링하는 데 X선 대신 초음파를 사용하면 환자선량을 상당히 줄인다.<sup>13)</sup> 전형적인 선량 준위가 초음파를 쓸 경우 0.25mSv이고 X선만 사용할 경우 1.2 mSv로서 초음파를 사용할 때 선량이 1/4-1/5로 감소한다(MacNamara와 Hoskins., 1999). 전형적인 ESWL 절차는 2.6-3.4분의 X선 투시 시간과 4-26개의 순간(spot) 필름 촬영을 포함하고 환자 당 평균선량은 1.6 mSv 이다(Carter 등, 1987; Sandilos 등, 2006). 제3장에 설명한 선량감축 전략은 모든 비뇨기과학 및 신장 진료절차에 적용할 수 있다. 스팟 필름 수 절약, 최종정지영상 등 방사선 방호조치 도입과 의료진 훈련을 통해 선량을 상당히 절감할 수 있다. ESWL 절차에서 숙련자는 비숙련자에 비해 입사면 선량을 30% 가량 감소시켰고(각각 26.4 mSv와 33.8 mSv)(Chen 등, 1991), 영상 수 감소로 환자 체중에 따라 선량을 20-62% 줄였다(Griffith 등, 1989).

(92) 제3장에 소개된 선량관리 조치는 비뇨기과학 절차에 일반적으로 적용 가능하다.

---

12) <역주> 이에 대해서는 국내 연구 사례도 있다. 예: 김영일 및 김태규, 체외충격파쇄석술을 받는 환자들에서 추적시 일측 복부 단순촬영의 유용성: 방사선피폭에 대한 감소효과, 대한비뇨기과학회지, 44(4), 334-341(2003).

13) <역주> 요석 위치 확인과 감시에 초음파만을 사용하는 것이 아니라 초기 확인이나 후속 추적에서는 X선을 사용했기 때문에 초음파 사용에서도 환자피폭은 일부 있다.

표4.2. 비뇨기와 치료 절차로부터 전형적 환자선량 준위(근사치)

절차	환자의 상대 평균 유효선량		환자의 상대 평균 방사선량*	보고된 값			참고문헌 <sup>‡</sup>	
	0	35		투시시간 (분)	입사피부 선량 (mGy)	면적선량곱 (Gycm <sup>2</sup> )		유효선량 (mSv)
경정맥 요로 조영술			C, D	n.a.	3.3-42	2-42	a, b, c, d, e	
방광내압측정			B	n.a.	/	7	b	
방광조영촬영술			B	n.a.	/	10	a, b	
배설 조영술			C	n.a.	/	0.43-9.9	a, b, f	
요도 조영술			B	n.a.	/	6	a, b	
부분적신적출술			C, D	6-12	1-250	14-29	g	
신루술			D	1.3-20	/	30 <sup>†</sup> (5-56)	7.7 <sup>†</sup> (3.4-15)	a, h, i
체외충격파 결석과쇄법			B	2.6-3.4	40-80	5	1.3-1.6	j
신장 스텐트 삽입술			E	/	/	49	13	a
수뇨관 스텐트 배치			C	/	/	18	4.7	a

n.a., 자료 없음.

† 평균값

‡ (a) UNSCEAR, 2010; (b) NCRP, 2009; (c) European Commission, 2008; (d) Fazel 등, 2009; (e) Yakoumakis 등, 2001;

(f) Livingstone 등, 2004; (g) Safak 등, 2009; (h) Miller 등, 2003b; (i) McParland, 1998; (j) Sandilos 등, 2006.

\* A, <1 mSv; B, 1-2 mSv; C, 2-5 mSv; D, 5-10 mSv; E, 10-20; F, 20-35 mSv; G, >35 mSv, 유효선량 기준

## 종사자 선량 관리

(93) 이 간행물에 개략적으로 설명한 방사선방호 기본원칙, 접근방법 및 기법을 적용한다면 비뇨기과에서 시행되는 대다수 절차는 종사자가 받는 선량을 ICRP가 제시하는 한도보다 훨씬 낮은 수준에서 수행된다. 그러나 방사선방호가 이루어지지 않는다면 방사선 상해나 장기적 위험을 초래한다.

(94) 방사선 투과촬영이나 진단용 CT촬영에서는 촬영실은 완전 차폐가 되어 있고 종사자는 일반적으로 조정실에 머무르므로 종사자의 피폭선량은 낮다. 그러나 수술실에서는 의료진을 비롯한 관련 종사자가 형광투시장비가 설치된 방에 있기 때문에 훨씬 높은 수준 방사선에 노출된다. 적절한 방사선방호 수단이 사용되지 않으면 형광투시실 안에서 방사선피폭은 상당하다. 실제 피폭은 시간, 업무량 그리고 차폐(예: 납치마 및 추가적인 납유리 스크린)에 따라 달라진다.

(95) 비뇨기과 절차에서 비뇨기과 의사가 받는 선량률은 차폐커튼을 사용하여 70-96% 감소시켜도 최대 11 mSv/h에 이른다(Giblin 등, 1996; Yang 등, 2002). 따라서 치료 당사자(비뇨기과 의사)가 방사선 위험을 인식하고 시간, 거리, 차폐(제3장에서 설명)가 중요하다.

(96) 현재 대부분의 경우(치료실 제외) 침상 상부에 X선관을 두는 절차가 비뇨기과절차에서 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 시스템에서는 차폐 안경을 사용하지 않으면 산란방사선에 의한 수정체 선량이 문제될 수 있다. 그러므로 종사자가 개인 보호장치를 쓰는 것 외에 침상 하부 시스템을 사용할 것을 권고한다.

## 4.3. 정형외과

(97) 정형외과에서는 다양한 절차에서 X선을 진단목적 및 기술적인 도움을 얻기 위해 사용한다. 이렇게 X선이 널리 사용되고 있음에도 정형외과분야 문헌에서 X선 사용에 수반되는 위험은 잘 다루어지지 않는다.

(98) X선은 20세기 초부터 뼈 및 관절 촬영에 사용되어 왔지만 정형외과 분야에서 형광투시기법의 적용은 늦은 시기에 주목받기 시작하였다. 1980년대에, 대퇴부 핀고정술 및 엉덩이 핀고정술 분야에서 형광투시가 중요한 수단으로 고려됨에 따라 정형외과 발전에 중요한 영향을 주었다(Giachino와 Cheng, 1980; Levin 등, 1987; Giannoudis 등, 1998). 최근에는 거의 모든 정형외과 분야에서

해당되는 목적에 따라 형광투시가 사용되고 있다. 정형외과 문헌에는 해부학적 정위, 뼈의 정복, 이식물 배치, 부정렬교정, 관절고정술, 골내 및 골외고정, 관절강내주사 등 무수히 많은 절차에서 C-arm 투시를 보고하고 있다. 또한 이동형 C-arm 형광투시 사용 지시가 확장됨에 따라 그 상대적 인기도 상응하여 높아지고 있다. 형광투시의 편리함과 응용력 덕분에 정형외과의 사용은 보편화되고 있으며 때로는 필수적이다(표4.3 참조).

(99) 현재 정형외과분야에서는 치료 시 침습적 절차를 최소화 하려하는 추세이다. 의학 및 산업 분야에서 집단적 선제를 통해 새로운 기술적 진보가 이루어진 덕분에, 정형외과 의사는 환자가 받는 연조직 손상과 그에 따른 이환률이 훨씬 작은 절차를 수행할 수 있게 되었다. 하지만 이러한 방법의 치료는 해당 해부 구조를 보는 간접적 시각화에 의존해야 한다. 따라서 이러한 추구에 비례하여 환자와 종사자가 피폭하는 선량은 상응하여 증가하게 된다. 어떤 이는 ‘합리적 최소화’를 강변하지만 항상 그러해야 하는 것은 아니며 바람직하지도 않다.<sup>14)</sup> 의사, 특히 의대 교수들은 방사선방호에 대한 그들의 태도가 학생에게 전수됨을 유념해야 한다. 환자 및 직업적 방사선방호에 대한 책임의식이 중요하다.

(100) 현재 미국에서의 모든 형광투시 유도 절차 중 8.4%를 차지하는 관절촬영법, 정형외과촬영 그리고 관절 촬영은 절차 당 평균 0.2 mSv의 유효선량을 환자에게 부여하며, 총 집단선량의 0.2%를 차지한다(NCRP, 2009). 영국에서도 이와 비슷하게 정형외과 분야에서 여러 촬영절차가 절차 당 유효선량으로 수  $\mu$ Sv에서 1 mSv까지 환자에게 부여하며 국민 집단선량에 1% 미만을 기여하는 것으로 나타났다(Hart와 Wall, 2002).

---

14) <역주> 방사선피폭의 ‘합리적 최소화’ 즉, 방호최적화 원칙을 이해하는 방향의 문제이다. 종종 ‘합리적’은 간과하고 ‘최소화’에 편향된 주장을 하는 사람들이 있는데 최적화는 반드시 피폭의 최소화가 아니다. ‘합리적’ 범위에서 최소화하는 것이다. 특히 의료에서 방사선 사용은 환자의 보건, 때로는 생명과 직결되기 때문에 정당화나 최적화 원칙의 적용이 지혜로워야 한다. 환자선량을 줄이는 것에만 초점을 맞추면 촬영에서 노출을 줄이게 되고 이는 영상품질을 저하시킨다. 만약 낮은 품질 영상 때문에 암종과 같은 중요한 병소를 확인하지 못하면 자칫 그 환자에게 치명적 결과를 가져온다.

표4.3. 다양한 정형외과 절차에서 이동형 C-arm 형광투시 사용 지시

정형외과적 응용분야	C-arm 형광투시 사용
일반	금속물 제거 이물질/이완물체 제거
외상	해부학적 위치선정 진단(동측 대퇴골 경부/간부 골절) 골절정복(석고붕대고정/부목고정 또는 치료적 교정) 수내정법 Kirshner 와이어/체외고정핀 설치 경피적 하드웨어 설치(예: 유관나사/무두나사, 최소침습 금속판 골유합술 등)
스포츠	관절경 검사 시 관절삽입 방법 허용이식물 설치의 식립 및 확인(예: 이두근 원위부 복원, 전방십자인대(ACL), 후방십자인대(PCL), 내측측부인대 (MCL), 후외방구조/가쪽결인대[LCL] 복원) 뼈 절제의 정도와 깊이 평가
척추	외상 수준 확인 변형 교정
손/팔	외상 뼈 절제의 적절성 평가 변형 교정 해부학적 위치선정
종양	경피생검 신장낭종흡인 진단(근접병소) 골절정복 및 이식물 설치 고주파 열치료
발/발목	외상 변형 교정 뼈 절제의 적절성 평가
관절 복원	이식물의 식립/고정 평가 사지정렬/관절선 평가

### 4.3.1. 선량준위

#### 환자선량

(101) 환자는 X선빔에 직접 노출되는데 이 방사선은 종사자가 받는 산란방사선보다 훨씬 강하다. 그러나 정형외과 환자는 혈관이나 심장 중재술 환자와는 달라서 조직반응 위험은 낮다. 표4.4에는 다양한 정형외과 절차에서 전형적인 형광투시 시간과 환자선량이 제시되어 있다.

(102) 통상 시술되는 정형외과 절차(대퇴전자부 골절에 대한 수내정법 intramedullary nailing of petrochanteric fracture, 복사뼈골절에 대한 내부고정 및 개방정복술 open reduction and internal fixation of malleolar fracture, 대퇴골 골절에 대한 수내정법 intramedullary nailing of diaphyseal fractures of the femur)에서 평균 형광투시 시간은 각각 3.2분, 1.5분, 6.3분이며 그 입사피부선량은 각각 183 mGy, 21 mGy, 331 mGy인 것으로 나타났다(Tsalafoutas 등, 2008).

(103) 외과적으로 다루어지는 대퇴부 골절 환자가 받는 전형적 유효선량은 11.6~21.7  $\mu$ Sv이다(Perisinakis 등, 2004). 하지골절 환자가 받는 유효선량은 0.1 mSv인데 반해, 근위전자골 골절에 대한 골접합못 고정술 환자가 받는 유효선량은 평균 14 mSv인 것으로 나타났다(Suhm 등, 2001).

(104) 정형외과적 외상 수술은 종종 골반골절을 안정시킬 필요가 있다. 주요 신경혈관에 근접하여 골절정복과 이식물 배치를 위한 외상수술에서는 C-arm 형광투시는 필수적이다. 골반의 단면적이 넓기 때문에 형광투시에 의한 골반 촬영은 환자와 의사에게 많은 선량을 줄 잠재성이 있다. 골반 모의체 촬영으로 수집한 피폭 데이터는 입사면에서 높은 선량률(40 mGy/min)을 보였다(Mehlman과 DiPasquale, 1997). 다른 연구에서는 대퇴부 혹은 경골 손상 핀고정술에서 환자 입사피부선량은 평균 183 mGy, 평균 형광투시 시간은 3.2분으로 나타났다(Tsalafoutas 등, 2008). 같은 연구에서 요추와 경추에 척추경나사 설치에서 환자피폭도 조사했다. 형광투시 시간은 평균 <1~7.7분이었으며 평균 입사면선량은 요추에서 46 mGy, 경추에서 173 mGy였고 그 범위는 각각 18-118 mGy와 5-407 mGy였다.

(105) 또 다른 연구에서는 척추경나사 삽입절차에서 형광투시 시간이 전후방 및 측면 조사에서 각각 1.2분과 2.1분이었으며, 그 결과 DAP는 각각 2.32 및 5.68

Gy $\text{cm}^2$ 로 나타났다. 형광투시에 의한 척추경나사 내부고정술을 받는 환자의 유효 선량, 생식선 등가선량 및 입사피부선량을 구하기 위한 성별 정규화 자료를 얻었다. 평균적인 절차에서 남녀 환자의 유효선량은 각각 1.40 mSv와 1.52 mSv이고 생식선 선량은 각각 0.12 mSv와 0.67mSv였다(Perisinakis 등, 2004). 최소침습 척추수술에서 이식물 배치를 돕기 위해서는 간접적 가시화가 필요하다. 당연히 이 절차는 더 긴 절차시간을 필요로 하며, 그에 따른 직접 방사선 및 산란방사선에 의한 피폭도 증가시킨다. PA면에서 환자의 평균 피부선량은 60 mGy(범위: 8.3-252 mGy)이고, 측방면에서는 79 mGy(범위: 6.3-270 mGy)로 나타났다(Bindal 등, 2008). 전체적으로 모든 정형외과적 형광투시로부터 받는 집단선량의 90%는 활강 압박 고정나사를 이용한 내고정술dynamic hip screw, 삼관형 나사를 이용한 내고정술cannulated hip screw, 고관절주사hip injection, 요추유합술 그리고 추간판절제술의 다섯 범주에서 발생한다. 사실은 엉덩이 및 척추가 이들 보편적 정형외과 절차의 총 집단선량의 99%를 차지하기 때문에, 이 둘이 선량 감축전략의 분명한 목표가 된다(Crawley와 Rogers, 2000).



표4.4. 다양한 정형외과 절차에서 전형적인 환자선량 준위(근사치)

절차	환자의 상대 평균 유효선량		상대 평균 환자선량*	보고치			참고 자료 <sup>‡</sup>	
	0 mSv	35		투시시간 (분)	입사피부선량 (mGy)	선량면적곱 (Gycm <sup>2</sup> )		유효선량 (mSv)
두개골			A	n.a.	n.a.	n.a.	0.1	a
목뼈			A	0.2-0.8	n.a.	0.42-1.3	0.1-0.2	a,b
가슴등뼈			A,B	0.85	n.a.	3.26	0.3-1.0	a,b
허리뼈			A,B	0.10-1.4	n.a.	0.54-10	0.07-1.5	a,b
골반			A	n.a.	n.a.	n.a.	0.6	a
엉덩이			A	0.020-1.15	n.a.	0.64-2.6	0.10-0.74	a,b
어깨			A	n.a.	n.a.	n.a.	0.01	a
무릎			A	n.a.	n.a.	n.a.	0.005	a
기타 사지			A	n.a.	n.a.	n.a.	0.001	a
손/손목			B,C	0.20-0.55	0.08-1.117	0.04-0.22	<0.004	b,c
원위요골 금속판 골유합술	n.a.		n.a.	1.8 <sup>†</sup>	17 <sup>†</sup>	n.a.	n.a.	d
복사뼈 골절 골유합술	n.a.		n.a.	1.5 <sup>†</sup>	21 <sup>†</sup>	n.a.	n.a.	d
경골 고평부 금속판 골유합술	n.a.		n.a.	1.2 <sup>†</sup>	35 <sup>†</sup>	n.a.	n.a.	d
전방십자인대 복원 관절경검사	n.a.		n.a.	0.9 <sup>†</sup>	19 <sup>†</sup>	n.a.	n.a.	d
정강뼈 수내정법	n.a.		n.a.	5.7 <sup>†</sup>	137 <sup>†</sup>	n.a.	n.a.	d
골간 대퇴골 골절에 의한 수내정법	n.a.		n.a.	6.3 <sup>†</sup>	331 <sup>†</sup>	n.a.	n.a.	d
전자관통골절에 의한 수내정법	n.a.		n.a.	3.2 <sup>†</sup>	183 <sup>†</sup>	n.a.	n.a.	d
허리뼈 내 양측 척추경나사 배치	n.a.		n.a.	0.8 <sup>†</sup>	46 <sup>†</sup>	n.a.	n.a.	d
목뼈 내 양측 척추경나사 배치	n.a.		n.a.	4.2 <sup>†</sup>	173 <sup>†</sup>	n.a.	n.a.	d
경피적 척추성형술			D,E	5-16	70-323	n.a.	8.5-13	d,e,f
경피적 척추후굴풍선복원술			C,D	10.1	320 <sup>†</sup> (50-860)	n.a.	4.3 <sup>†</sup> (0.47-10)	f,g

n.a., 자료 없음. † 평균값

‡ (a) Mettler 등 2008; (b) Crawley와 Rogers 2000; (c) Giordano 등 2007; (d) Tsalafoutas 등 2008; (e) Miller 등 2003a; (f) Seibert 2004;

(g) Boszczyk 등 2006.

\* A, <1 mSv; B, 1- <2 mSv; C, 2- <5 mSv; D, 5- <10 mSv; E, 10- <20 mSv; F, 20-35 mSv; G, >35 mSv, based on effective dose.

## 종사자 선량 준위

(106) 다수의 연구는 C-arm 형광투시를 이용하는 정형외과 의사는 ICRP가 권고하는 선량한도보다 훨씬 낮은 수준의 직무피폭을 받는 것이 전형적임을 보여준다. 다양한 정형외과 절차에서 보고된 선량은 국제표준의 직무피폭 연간 한도에 훨씬 못 미치는 수준이다(Jones 등, 2000; Singer, 2005; Giordano 등, 2007, 2009a). 그러나 많은 의료인이 개인선량계를 정규적으로 착용하지 않기 때문에 실질적이고 믿을만한 자료가 부족하다. 정형외과 의사는 대부분 피폭을 산란방사선으로부터 받지만 때로는 1차빔도 피폭한다. 가장 흔한 정형외과 절차의 하나(전자골 골절에 대한 수내정법)로부터 산란방사선 평균 선량률은 손, 가슴, 갑상선, 눈, 생식선, 다리에 대해 각각 0.103, 0.023, 0.013, 0.012, 0.066, 0.045 mGy/min이다(Tsalafoutas 등, 2008). 그 204 절차에서 누적 선량은 각각 72, 16, 9.4, 8.3, 46, 31 mGy였다. 만약 방호용 납치마와 목차폐를 사용한다면, 실제 유효선량은 개인선량계가 지시하는 값의 일부(대략 10%)가 된다(Tsalafoutas 등, 2008).<sup>15)</sup>

(107) 미니 C-arm을 사용한 형광투시 유도로 발목수술에서 의사와 보조 의료진의 수정체나 갑상선 선량률은 환자로부터 거리에 따라 0.36  $\mu$ Gy/min에서 3.7  $\mu$ Gy/min로 나타났다(Mesbahi와 Rouhani, 2008). 빔 중심축으로부터 거리가 20 cm에서 60 cm로 늘어나면 산란방사선에 의한 선량은 1/10로 감소한다. 전형적 업무부담 250절차/년, 절차 당 가동시간 5분일 때, 방사선방호 원칙이 준수되면 추가 차폐 없는 수정체 등가선량은 5 mSv 미만이 된다.

(108) 손 수술에서 수술 중 C-arm 형광투시 사용은 보편적이다(표4.3 참조). 표준 C-arm 또는 미니 C-arm 모두 사용된다. 몇몇의 자료들은 손가락, 손, 손목의 수술 치료의 선택적 절차 중 의사의 피폭이 예상보다 높게 나타났다(Singer, 2005). 미니 C-arm 형광투시에서 의사의 손 선량은 10  $\mu$ Sv/건 미만부터 320  $\mu$ Sv/건으로 나타났다(Singer, 2005; Giordano 등, 2007). 의사의 피폭은 주로 손 배치, 이식물 설치, 적절한 뼈 정렬 확인 중에 빔에 직접 노출로 일어난 것으로 보인다. 반면에 산란방사선에 의한 피폭은 낮은 것으로 나타났다. 손 수술 중 의사의 위치에 따른 가슴 높이는 선량률은 미니 C-arm 장치에서 4-20  $\mu$ Gy/h였고 표준 C-arm에서는 전형적으로 230  $\mu$ Gy/h였다. 빔내 선량률은 미니 C-arm에서 37 mGy/h, 표준 C-arm에서 65 mGy/h였다(Athwal 등, 2005).

---

15) <역주> 참고문헌 저자가 잘못 기술했다. 납치마를 착용하는 경우 개인선량계는 납치마 아래에 착용하는 것이 원칙이므로 개인선량계 지시는 유효선량보다 약간 낮음이 정상이다. 10%로 적은 것은 개인선량계를 납치마 위에 착용한 경우에 해당한다. 제57항을 참조하기 바란다.

(109) 발이나 발목 절차에서 표준 및 미니 C-arm 형광투시를 할 때 환자와 의사가 받을 수 있는 선량에 대한 자료를 얻기 위하여 시체표본을 사용했다(Giordano 등, 2009b). C-arm 원호 안의 표본 위치 및 X선원과 의사의 거리에 따라 환자와 의사의 선량 수준에 차이가 났다. 발/발목 절차의 모든 촬영배열에서 의사의 피폭은 일반적으로 낮게 나타났다(Gangopahyay와 Scammel, 2009; Giordano 등, 2009b). 미니 C-arm으로 발/발목 표본을 촬영할 때 X선빔으로부터 거리가 20 cm에서 평균 선량률은 2.4  $\mu$ Gy/min으로 기록되었다(Badman 등, 2005). 거리가 증가하면, 제3장에서 설명한 것처럼 역자승법칙에 따라 선량률이 감소했다. 빔 축으로부터 전형적 거리로서 의사는 30 cm, 수술조수는 70 cm, 간호사는 90 cm에 있을 때 눈높이에서 산란선 선량률은 의사에게 0.1 mSv/min, 조수에게 0.06 mSv/min, 간호사에게는 무시할 수준이었다. 이는 빔 축으로부터 90cm이상 떨어져서 작업을 하는 사람은 극히 작은 피폭을 받음을 나타낸다(Mehlman과 DiPasquale, 1997).

(110) 정강이뼈나 대퇴골 골절에 의한 골수내고정술은 평균적으로 1-10분의 시간이 소요되며, 따로 방호가 없는 의사의 평균 선량률은 손, 눈, 가슴 각각 0.128, 0.015, 0.028 mSv/min이다. 이 값은 치료절차 당 받는 선량이 각각 0.44, 0.05, 0.10 mSv로 상응한다(Sanders 등, 1993; Müller 등, 1998; Tsalafoutas 등, 2008). 이 절차에서 갑상선 선량률은 보호 없을 때 0.016 mSv/min이어서 형광투시 시간이 3.2 min/건이면 갑상선 등가선량은 0.06 mSv/건이 된다(Tsalafoutas 등, 2008).

(111) 정강이뼈나 대퇴골 골절에 대한 골수내고정술에서 특별한 방호 없이 의사와 조수가 손에 받는 평균 등가선량은 각각 1.27, 1.19 mSv이고 절차 평균시간은 4.6분으로 나타났다(Müller 등, 1998). 연평균 업무부담이 250 절차일 때 연간 300 mSv를 받게 되는데 이는 손에 대한 등가선량한도인 500 mSv(제2장 참조)에 비해 유의하게 낮다.<sup>16)</sup>

(112) 외상 관리에서는 때때로 ‘정형외과 수습책’을 실시할 필요가 있다. 이러한 시나리오에서는 환자 부상의 심각성과 전반적 혈액동태학적 안정도가 확정적 안정화를 실시하지 못하게 한다. 이 경우, 환자는 지나치게 긴 수술시간을 견디기

16) <역주> 연간 손 등가선량 300 mSv는 선량한도 미만이지만 현저히 낮지는 않다. 만약 이러한 수준 피폭이 매년 반복된다면 각질화과 같은 경증 부작용은 발생할 수도 있으므로 방호장구 사용을 고려할 필요가 있다.

어려우므로 불안정한 근골격부상의 외부고정은 뼈를 적절히 정렬하고 출혈을 감소시켜 시간을 버는 적절한 방법이 된다. 형광투시가 뼈 정렬의 적절성과 외부고정핀 배치를 확인하기 위해 사용된다. 외부고정기 설치에서 시술자 손가락 선량을 총 44 절차에 대해 측정했는데 누적 등가선량은 48  $\mu\text{Sv}$ 에서 2329  $\mu\text{Sv}$  범위에 있었고 80%가 100  $\mu\text{Sv}$  미만이었다(Goldstone 등, 1993). Nordeen 등(1993)의 보고에 따르면 부상환자 치료에 참여한 정형외과 의사가 받는 월간 선량은 전신에 1.25 mSv, 눈에 3.75 mSv였으며, 손에 12.5 mSv였다. 손이 받는 선량률은 눈보다 약간 높아 3.95 mSv/월이었다.

(113) 스포츠의학 전문가나 관절경 검사를 하는 의과의사는 수술의 부속수단으로 C-arm 형광투시를 이용하지 않는 것이 보통이며 대부분 절차를 관절경을 쓰거나 개방법을 이용한 직접적 시각화 아래서 수행한다. 그러나 일부 의사는 인대를 복원하기 위해 골터널을 뚫거나 이식물 위치가 적절한지 확인하는 데 C-arm 형광투시를 선호한다. 일반적으로 주 인대 복원의 경우 수술 중 형광투시를 사용하는 시간이 적는데 C-arm 형광투시를 사용하면 주 인대 동종이식 복원에서 방사선 피폭이 최소로 된다. 이러한 치료절차에서 의사가 받는 선량률은 한결같이 낮아 0.7  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 으로 나타나(Larson 등, 1995), 형광투시 시간이 2.38분인 경우, 의사의 평균 유효선량은 16  $\mu\text{Sv}/\text{절차}$ , 혹은 업무부담이 250절차/년일 때 연간 4 mSv가 된다. 다른 이식물과 기술을 사용한 연구에서도 의사가 산란방사선으로 받는 선량은 낮은 것으로 나타났다(Larson과 DeLange, 2008; Tsalafoutas 등, 2008).

(114) 척추수술을 빈번히 수행하는 정형외과 의사는 해부학적인 위치파악이나 변형교정에서 뼈 정렬 평가, 이식물 배치 유도를 위해 C-arm 형광투시를 이용한다. 이때는 신체의 넓은 영역이 영상화되고 이 영역이 양상증배관의 전체 시야를 채우기 때문에 환자나 의사가 더 높게 피폭할 잠재성이 크다. 형광투시 도움 아래 흉요추 척추경나사를 배치하는 의사는 척추가 아닌 근골격 절차를 수행하는 의사에 비해 훨씬 많은 피폭(10-12배)을 받는다(Rampersaud 등, 2000). 이때 의사의 목과 손이 받는 선량률은 각각 0.08, 0.58 mGy/min이다. 의사의 몸통이 받는 선량률은 의사가 빔선원 옆에 섰을 경우 더 높게 나타났다(0.53 mGy/min, 반대쪽의 경우 0.022 mGy/min)(Rampersaud 등, 2000). 척추경나사 고정에 표준 C-arm 형광투시를 사용할 경우 의사의 평균 선량률은 0.58 mSv/min이었다. 이 선량률은 상대적으로 높으므로 방사선방호 기준을 엄격히 지킬 필요가 있다.

(115) 최소침습적 척추수술에서 평균 형광투시 시간이 1.7분일 때, 절차 당 의사

의 평균 등가선량은 손에 0.76 mSv, 납치마 아래 허리부분에 0.27 mSv, 방호가 없을 때 갑상선에 0.32 mSv였다. 최소침습적 절차인 경피적 척추후굴풍선복원술과 경피적 척추성형술에서는 AP 및 측방 모두 실시간 영상화가 필요하여 종종 두 평면 방사선투시기를 사용한다. 사실 정형외과 의사가 받는 유효선량 및 그에 따른 위험의 90%는 경피적 척추후굴풍선복원술에 의한 것이며, 8%는 다른 척추수술 절차에 의한 것이다(Theocharopoulos 등, 2003). 일반적인 엉덩이수술, 척추수술, 경피적 척추후굴풍선복원술 절차에서 수술대 옆에서 작업하는 의사가 받는 유효선량은 0.5 mm 등가 납치마 하나만 착용하였을 때 각각 5.1, 21, 250  $\mu$ Sv이다. 추가적으로 갑상선 보호대를 착용한다면 각각의 절차에서 유효선량을 2.4, 8.4, 96  $\mu$ Sv까지 낮출 수 있다.

(116) 경추와 관련된 절차에 표준 C-arm 형광투시를 사용하는 경우, 의사의 선량률은 0.25-0.30 mSv/min이며, 이는 요추와 관련된 절차에서의 선량률(0.53-0.58 mSv/min)에 비해 다소 낮다(Jones 등, 2000; Rampers 등, 2000; Giordano 등, 2009a).

## 4.3.2. 방사선량 관리

### 환자선량 관리

(117) 정형외과에서 실시하는 진단 테스트는 영상화에 크게 의존하고 있다. 이러한 영상화기술의 대다수는 연조직 혹은 뼈 해부에 대해 가변적 민감도를 가지므로 호환적으로 사용될 수 있다. 한편, 정위, 간접적 가시화 혹은 수술 기구 유도를 위한 영상화에 의존하는 절차는 종종 방사선이 촬영수단으로 사용되고 있다. 일부 최소침습적 정형외과 절차에서는 C-arm 형광투시가 직접적 가시화를 대신하고 있을 뿐만 아니라 절차의 성공적 완수에 필수로 되어 있다. 수술 중 방사선 피폭을 줄이기 위하여, 일부는 기존에 형광투시에 주로 의존했던 절차에 초음파와 같은 대안 영상화기술을 사용하기 시작하였다(Weiss 등, 2005; Hua 등, 2009; Mei-Dan 등, 2009). 비록 이러한 대체 영상화기술의 이용은 상대적으로 덜 검증되었지만, 방사선을 이용하는 영상기술의 새로운 대안으로 유망하다.

(118) 합당한 방사선 안전관행을 충실히 따르고, 대상을 영상증배관에 근접시켜 영상화하면 환자피폭은 크게(1/10배) 감소하는 것으로 나타난다. 수술 절차 때 C-arm 형광투시를 사용하면 상당한 학습곡선이 도출될 것이다. C-arm 장치를 가장 효율적으로 사용하기 위한 빔 방향, 의사의 위치, 영상 최적화, 기타 관리상

도전을 경험하는데 시간이 필요하다. 수술 전에 대해 C-arm 형광투시의 최적 사용을 측정하는 데는 영상 시간이 필요할 것이다.

(119) 최근의 자료에 의하면 미니 C-arm 투시기가 환자나 의사의 선량을 제한할 수 있지만 이 기기의 사용에 여전히 주의가 필요하다(Giordano 등, 2007, 2008, 2009a,b). 미니 C-arm 형광투시기가 부적절한 방식으로 사용되면 의사, 환자 및 주변 직원에게 상당한 양의 산란선 피폭을 초래할 것이다. 미니 C-arm의 부주의한 사용은 동일한 영상화 조건에서 대형 C-arm에서 받는 선량을 초과할 수도 있다. 그러므로 미니 C-arm과 대형 C-arm을 사용할 때 일상적으로 방호용 납치마를 입는 것을 포함한 엄격한 방사선방호 대책이 취해져야 한다. 대형 C-arm 투시기가 사용에 관련된 문제, 특히 누적 방사선위험, 위치 고려, 빔으로부터의 상대적 거리, 그리고 차폐와 관련된 문제를 해소하기 위해 가능할 때는 언제나 미니 C-arm을 사용해야 한다(Badman 등, 2005).

(120) 영상화 배열에 따라서 미니 C-arm을 사용할 때의 환자 입사피부선량률은 표준 C-arm을 사용할 때의 절반 정도가 될 수 있다. 시체의 팔에 대한 손목 수술이나 손목 골절 고정화에서 보고된 전형적인 피부선량률은 미니 C-arm에서 0.60 mGy/min, 대형 C-arm에서 1.1 mGy/min였다. C-arm 투시기를 사용할 때 생기는 빈번한 실수는 영상품질을 개선시키기 위해 노출인자를 증가시키는 것인데 대부분 촬영 문제는 명도와 대조를 적절히 조절함으로써 해결될 수 있다(Athwal 등, 2005). C-arm 방사선원과 촬영 대상간의 거리 또한 직접 방사선 피폭량에 영향을 미친다. 의사는 X선원으로부터 가능한 한 멀리서 환자를 영상화하도록 의식적으로 노력해야 한다. 이는 미니 C-arm에서는 촬영할 팔을 영상 증배관 바로 앞에 두어야 함을 의미한다. 권장하고 있는 수직 배열로 표준형 C-arm을 사용할 때에는 선원을 바닥까지 내려 SSD를 극대화해야 한다(Athwal 등, 2005).

(121) 영상화 하는 신체의 단면적 크기 혹은 환자 조직의 밀도가 증가할수록 환자와 수술팀이 받는 선량이 급격히 증가한다. 두터운 신체 부분은 얇은 신체 부분보다 X선을 더 감쇠시키므로 일관된 영상 정보를 얻기 위해서는 이를 보상해야 한다. C-arm 투시기가 '정규' 모드로 설정되어 있을 때에는 양질의 영상을 생성하기 위해 기술인자가 자동으로 조절된다. 따라서 더 두터운 신체 부위를 영상화할 때에는 그에 맞게 방사선 발생도 상당히 증가한다.<sup>17)</sup> 촬영되는 신체

---

17) <역주> 원문은 이 부분에서 단순히 촬영하는 신체부위의 '면적'으로 적고 있지만 문맥상 두께가 옳기 때문에 적절히 수정했다.

단면적에 따라 직접 방사선과 산란방사선 양이 상당히 변하므로 이 개념은 정형외과 의사에게 필요하다. 촬영하는 손발의 크기나 조직의 밀도가 커질수록 간접 산란선에 의한 의료진 피폭뿐만 아니라 환자의 직접 피폭도 현저한 증가가 있다(Giordano 등, 2007, 2008, 2009a,b; Yanch 등, 2009). 위에 언급했듯이 이는 척추 수술을 수행하는 정형외과 의사에게 특히 관련이 깊다.

(122) 척추 수술을 하지 않는 정형외과 의사라도 같은 원리가 적용되고 이 원리는 적절한 안전 예방책을 유지하는 데 중요하다. 대형 C-arm을 써서 검사할 때 발/발목 검사에서 환자 입사피부선량이 경추 검사에서 보다 10배 높게 나타났고 의료진이 받는 선량은 2~3배 증가했었다(Giordano 등, 2007, 2008, 2009a,b). 같은 조건에서 미니 C-arm을 쓴다면 환자 선량은 3~4배, 의료진 선량은 2배 증가한다.

(123) 끝으로, 제3장에서 기술한 모든 환자선량 감축조치는 정형외과 수술에도 적용된다.

### 종사자 선량 관리

(124) 그림3.7에서 보였듯이 X선은 각기 다른 방향으로, 그리고 직선으로 방사된다. X선 세기는 진행거리에 따라 역사승법칙으로 줄어든다. 외과 수술실에 대한 연구는 X선원으로부터 거리가 10 cm에서 90 cm로 변할 때, 종사자 선량은 0.20 mSv/절차에서 0.03 mSv/절차로 감소됨을 보였다(Mehlman와 DiPasquale, 1997). 전통적으로 의사는 X선원과 1.8 m 이상 떨어져 있으면 방사선 피폭에 의한 위험이 사실상 없다고 배워왔으나(Tsalafoutas 등, 2008) 이 지식이 옳지는 않다. X선원으로부터 6 m 떨어져 있는 거리에서도 꽤 높은 피폭이 있다는 연구가 그러한 지식에 의문을 제기한다(Badman 등, 2005).

(125) 지난 수십 년간 미니 C-arm 투시기는 방사선량을 줄일 수 있는 편리한 영상화 도구로 떠올랐다. 다양한 정형외과 절차와 시나리오에 대해 이 기기의 피폭 준위를 연구했다(Athwal 등, 2005; Giordano 등., 2007, 2009b; Larson 등, 2008; Love 등, 2008). 일부 시술자는 자신이 1차빔 영역에서 벗어나 있고 자신의 신체가 영상에 나타나지 않으면 피폭이 무시할만한 수준이라고 믿고 있다. 이러한 믿음은 이상적인 여건에서 이루어진 여러 연구에서 그러했다는 사실에 바탕을 두고 있는데 이는 실제상황에서 접하는 현실적인 상황과는 다르다. 의사나 수술팀의 피폭은 X선 빔의 방향에 따라 달라진다. 때로는 탈구를 교정하거나 이식물 설치를 위해 의사가 피치 못하게 빔과 매우 근접한 거리에서 작업해야

하는데 이때는 의사가 1차빔에 접하거나 산란선을 피폭할 가능성이 높다. 몇몇 연구는 의사가 영상증배관 쪽에 있을 때 피폭선량이 크게 감소하는 것을 보였다 (Rampersaud 등, 2000). 실제로 일부 경우에서 X선원이 수술대 아래에 위치할 때 효과적인 빔 차단이 가능했다(Jones 등, 2000). 그래서 C-arm을 측면 혹은 비스듬한 방향으로 사용할 때는 의사는 산란선 피폭을 줄이기 위해 수술대 옆의 영상증배관이 있는 편에서 작업을 수행하여야 한다. 이는 촬영하는 신체 면적이 빔을 완전히 차지할 때는 적용 가능하지만, 작은 신체 부위를 촬영하면서 빔이 작게 콜리메이션 되지 않으면 이 원리가 반드시 적용되지 않는다. 이러한 상황에서는 X선 중 일부가 대상물을 비껴가 감쇠되지 않고 반대편에 높은 선량을 초래할 수 있다. 이런 점이 수술진의 위치를 정할 때 고려되어야 할 사항이다.

(126) 산란선에 의한 피폭을 감축하기 위하여 흔히 납차폐를 사용한다. 제작사는 방호복의 두께에 따라 다른 방호인자를 제시하고 있다. 일반적으로 납 0.5mm 두께를 갖는 방호복은 산란선 피폭량을 90% 이상 줄일 것으로 기대할 수 있다. 현실적으로는 납 방호복의 산란선 차폐능력은 방호복을 유지하는 품질관리 조치에 달려있다. 즉, 납의 방호능력이 정비 불량으로 낮아질 수 있다. 41개의 납치마를 대상으로 한 연구에 의하면, 납치마의 73%가 납당량 허용수준의 5%를 벗어났다(Finnerty와 Brennan, 2005). 나아가 미국 정형외과학회의 최근 보고서에 의하면 납 방호복 아래 선량이 그 위 선량에 비해 30-60%만 낮게 나타났다(American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2008). 이는 납 방호복의 적합한 유지보수 및 보관의 중요성뿐만 아니라 이 방호수단의 오류 위험을 강조한다. 납치마는 제품의 수명을 향상시키기 위하여 접어서 보관하지 말고 걸어 두어야 한다. 높은 관전압이나 촬영하는 신체의 넓은 면적 같은 영상화 인자가 차폐효과를 더욱 낮출 수도 있다. 방호수단을 개선하기 위해서는 이렇게 종종 간과하는 변수들을 명확히 이해하고 시정해야 한다.

(127) 갑상선 보호대를 사용하면 kV나 납당량에 따라 차이는 있지만 갑상선 피폭을 90% 이상 줄일 수 있다(제3장 참조). 의사의 손에 발생한 높은 피폭은 의도치 않게 1차빔에 노출되어 발생한다. 의사는 X선빔의 입구 쪽보다 출구 쪽(즉, 영상강화기 쪽)에 자리해야 한다. 출구 쪽을 나오는 X선은 대체로 그 세기가 입구의 1% 수준이다(제3장 참조). 그러므로 의료진이 빔 출구 쪽에 위치할 수 있도록 주의를 기울여야 한다. 이에 대한 인식부족은 의료진의 불필요한 피폭으로 이어진다. 탈골의 어려운 교정, 뼈 정렬 확인, 또는 이식물의 정확한 배치 등을 위해 때로는 의사의 손이 1차빔에 들어갈 수도 있다.<sup>18)</sup> 그러나 대부분 경우 손의 직접 피폭은 피할 수 있다. 의사나 조수의 손이 기록된 영상에 보인다면 그것





그림. 4.1. 말단 상완뼈 골절의 내부고정이 잘 이루어졌는지 확인하기 위해 얻은 투시영상. 조수가 팔뚝을 잡고 있는데 조수의 손가락 세 개가 영상에 포함되어 있다. 이는 좋지 못한 관행이다. 출처: D. Miller.

은 대체로 방사선방호 관행이 부실함을 증명하는 것이다(그림4.1참조). 손의 직접피폭을 피할 수 없는 경우에는 납 장갑 사용을 고려해 봐야 한다.

(128) 정형외과 문헌에 수록된 최초의 방사선피폭 자료의 일부는 외상환자의 고관절 고정과 대퇴골 고정술에서 언급되었다(Giachino와 Cheng, 1980; Giannoudis 등, 1998). 제3장에 기술한 바와 같이 환자로부터 거리를 늘이는 것이 선량감축을 위한 효율적 방법이다. 측방 투영이고 바깥 방향으로 X선 빔을 쏘는 경우(의사는 영상수감부 옆에 위치), 의사와 환자 거리를 2.5 cm에서 45 cm로 늘이면 선량률은 1.9 mGy/h에서 0.2 mGy/h로 줄어든다. 유사하게, 측방 투영에서는 빔을 신체 정중선으로 조사하는 경우(의사는 X선관 옆에 위치), 거리를 2.5 cm에서 45 cm로 늘이면 선량률은 77 mGy/h에서 1.5 mGy/h로 줄어든다(Giachino와 Cheng, 1980).

18) <역주> 원문 표현에 오류가 있어 수정했다.

## 4.4. 산부인과학

(129) 대부분 산부인과 방사선 검사는 영상의학과에서 수행되었지만 부인과 차원에서 수행되는 경우도 있어 이 보고서에 포함했다.

(130) 미국에서 수행된 형광투시 유도 진단 및 중재 절차 중 산부인과 연구는 4.5%를 차지하며, 환자의 평균 유효선량은 1 mSv이다. 이 유효선량은 국민 총 집단선량의 1% 미만을 차지한다(NCRP, 2009).

(131) 자궁 난관조영술hysterosalpingography은 상대적으로 흔한 방사선학적 절차로서 자궁강과 수란나팔관Fallopian tubes의 개방성을 검사하는데 사용된다. 이 촬영을 통해 원발성 불임과 속발성 불임을 공통적으로 볼 수 있다. 잊지 말아야 할 점은 환자가 임신했을 가능성이 있으므로 임신을 배제할 정보가 없다면 임신 테스트가 선행되어야 한다.

(132) 골반계측법은 오래된 기술로서 여성 골반의 크기를 측정하기 위한 것인데 일부 국가에서는 여전히 사용되고 있다. 골반계측법은 주로 불기태위(둔위분만)에서 질 분만을 계획하는 상황이나 현재 혹은 이전 임신에서 골반 크기 감소가 의심될 때에 고려된다.

(133) 역사적으로 많은 나라에서 골반계측법이 태아 방사선피폭의 주된 원인이 되었다. X선을 이용한 골반계측법은 때때로 가치가 있지만, 이 계측법이 필요하다고 보는 드문 경우에서만 사용해야지 일상적으로 수행해서는 안 된다. X선 골반계측법은 진통 및 분만을 담당하는 의사에게 한정된 부가정보를 제공해줄 뿐이다. 흔치 않지만, 임상의가 의료행위 결정에서 X선 골반계측법이 도움을 줄 것이라고 판단할 때는 그 판단근거를 명확히 기술해야 한다(ICRP, 2000).

(134) 전통적 골반계측은 투과사진을 통해 이루어졌지만, 현재는 디지털 형광투시, 전산화단층촬영(CT), 자기공명영상 그리고 초음파도 골반계측에 사용된다(Thomas 등, 1998; ICRP, 2000).

(135) 자궁 동맥색전술은 평활근종leiomyomata 치료에서 최소침습적 절차이다. 일반적으로 이 절차를 외과수술 대체로 채택할 수 있지만, 상대적으로 형광투시 시간이 길고 다수의 영상을 얻어야 하기 때문에 절차로 인한 방사선영향을 주의

깊게 평가해야 한다(Nikolic 등, 2000).

#### 4.4.1. 방사선량 준위

##### 환자선량

(136) 골반계측에서 어머니와 태아가 받는 선량은 CT, 전통적 투과영상, 디지털 형광투시 등 어떤 기법을 선택하느냐에 따라 20-40배까지 달라질 수 있다(표4.5 참조).

(137) 측방 스캐노그램에 의한 CT 골반계측이 일반적으로 가장 적은 방사선량을 주는데, CT가 가용하지 않다면 단일 측면상을 나타내는 공기층 기법<sup>19)</sup>air gap technique을 사용한 전통적 투과촬영이 상대적으로 저선량 대안이 된다(Thomas 등, 1998). 비교해보면 전통적 골반계측법에서 유효선량은 0.5-5.1 mSv로서 CT 골반계측법에서 값 0.2 mSv보다 상당히 높다(Hart와 Wall, 2002).

(138) 불임을 진단하기 위한 자궁난관조영술을 받는 환자는 일반적으로 유효선량을 1.2-3.1 mSv(표4.5 참조)받고, 이때 난소의 흡수선량은 2.7-9.0 mGy이 된다. 그러나 이보다 높은 8 mSv의 유효선량과 9-11 mGy의 난소선량도 보고되기도 했다(Fernández 등, 1996; Nakamura 등, 1996; Gregan 등, 1998). 자궁동맥색전술로 인한 유효선량은 15-26 mSv으로 훨씬 더 높고, 피부 및 난소 선량도 상대적으로 높은 편이다(Nikolic 등, 2000; Glomset 등, 2006). 자궁과 난소가 받는 평균 선량 평가치는 각각 81-101 mGy와 85-105 mGy로 보고되었다(Glomset 등, 2006).

##### 종사자 선량 준위

(139) 자궁난관조영술에서 검사 프로토콜에 형광투시 유도가 필요하다면 종사자는 X선실 안에 위치해야 할 것이다. 절차에 투과촬영만 있다면 종사자는 X선실 밖 제어반에 위치할 것이다. X선실 안에 있는 종사자는 방호용 납치마를 착용해야 할 뿐만 아니라, 제3장에서 언급된 다른 방호수단도 취해야 한다.

(140) 이 주제에 대한 자료는 드물다. 최근에 입사표면선량 0.18 mGy/절차로 보고된 논문이 있는데 전통적 X선 필름을 이용한 자궁난관조영술은 디지털 촬영에

---

19) <역주> 전통적 투과촬영에서 X선관과 필름 거리를 멀리(1.8m 이상)하고 피사체와 필름 사이에 23 cm 정도의 공간을 두고 촬영하는 기법. I. Badr 등, *Clinical Radiology* 52, 136-141 (1997) 참조.

비해 약간 높게 나타났다(0.21 mGy 대 0.14 mGy). 종사자의 눈 수정체, 갑상선 및 손 선량은 각각 0.22, 0.15, 0.19 mGy/절차로 보고되었다. 납 당량이 0.35-0.5 mm인 납치마를 착용할 때 종사자의 위험은 무시할 수준이다(Sulieman 등, 2008).

## 4.4.2. 방사선량 관리

### 환자 피폭선량 관리

(141) 제3장에서 환자선량 선량 관리에 대하여 상세하게 다루었다.

(142) 자궁난관조영술에서 표준 절차는 약 0.3분 동안의 형광투시와 3~4개의 영상을 얻는다(Perisinakis 등, 2003). 형광투시 시간이 늘어나거나 더 많은 영상을 얻으면 환자선량이 증가하게 된다. 자궁난관조영술은 전형적으로 AP와 경사 투영을 수행한다. 이 절차로 인한 총 유효선량은 2 mSv인데 AP와 경사 투영으로 인한 기여는 각각 1.3 mSv와 0.7 mSv이다(Calcchia 등, 1998).

(143) 자궁난관조영술 절차에서 관전압을 올리면 효율적으로 선량을 감소시킬 수 있다. 관전압을 70 kV에서 120 kV로 올렸을 때 난소 선량이 약 반으로 줄었다(Kramer 등, 2006). 투시 방향을 AP로 하거나 추가 필터를 사용함으로써 환자선량을 낮출 수도 있다. 한 예로서 디지털 투과촬영 시스템에서 추가필터 사용은 자궁난소조영술의 영상품질 손실 없이 80% 이상 선량감축을 얻을 수 있었다(Nagashima 등, 2001).

(144) 영상화 장비가 스크린-필름에서 디지털로 바뀌면서 거의 1/6 수준으로 선량이 감축되었다는 증거가 있다. 자궁난관조영술 절차에서 전통적 스크린-필름과 침상 하부 X선관 방법을 쓴 경우, 그리고 디지털 C-arm 투시기를 사용한 경우를 비교한 선량계측 결과, 입사표면선량이 각각 15 mGy와 2.5 mGy로 나타났다(Gregan 등, 1998). 이때 난소가 받은 선량은 각각 3.5와 0.5 mGy였다. 자궁난관조영술에서 총 선량의 75% 정도가 투과촬영에서 오고 나머지 25% 정도만 형광투시에서 오기 때문에(Fernández 등, 1996), 저장된 디지털 영상을 이용함으로써 환자에게 추가적인 피폭 없이 선량을 상당히 낮출 수 있다. 펄스 형광투시와 최종영상유지 기능이 있는 C-arm 형광투시 영상화 시스템을 쓰는 것이 바람직하다(Phillips 등, 2010).

(145) 자궁난관조영술 절차에서 선량을 낮추는 기본적 접근은 투시시간과 획득

하는 영상의 수를 줄이는 것이다.

### 종사자 선량 관리

(146) 평균 투시시간은 시술자에 크게 의존함은 알려져 왔다. 부인과 전문의나 훈련의사에 의해 수행되는 절차에서 관측된 투시시간은 방사선전문이가 보인 투시시간보다 길었다(Sulieman 등, 2008). 그러므로 자궁난관조영술은 방사선 방호 및 선량 관리에 관하여 교육을 받은 숙련된 의사가 시술해야 한다. 일반적으로 환자선량을 줄이는 모든 방법으로 의사와 지원인력이 받는 선량 또한 줄일 수 있다. 나아가 침상 상부 X선관 배열을 쓰면 산란선에 의해 시술자의 얼굴, 목 등과 같은 상체 부위 선량이 증가한다.

(147) 제3장에 기술되어 있는 종사자 선량 관리 조치들은 일반적으로 부인과 절차에도 적용가능하다.

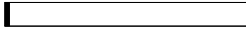

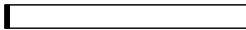
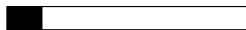

## 4.5. 위장병학 및 간담도계

(148) 위장병학 및 간담도계 절차에서의 방사선 사용은 다소 과도기에 있다. 이 전부터 위장병학은 방사선 피폭이 개입되는 여러 중재방사선 절차를 수행했다. 예로써 위장이나 간담즙계에 대한 X선 연구, 소장조직 생검관 배치, 식도 확장, 내시경 검사 보조뿐만 아니라 ERCP 동안 췌장-담즙계의 진단 및 치료 절차가 있다. ERCP 및 기타 담즙 절차는 형광투시 유도를 요구하는데 현재 X선 피폭의 대부분은 ERCP, 강내 스텐트, 확장 과정에서 온다. 그 밖의 다른 절차는 진단 장비와 기술의 개선으로 대체되어 가고 있다. ERCP를 수행하는 위장병학자는 주로 전문 센터에서 일하며 매일 여러 절차를 수행할 것이다. 형광투시나 X선장치가 사용되는 많은 상황에서 위장병학자는 자신은 물론 환자와 직원의 위험을 줄일 수 있다.

(149) ERCP 연구는 미국에서 수행된 모든 형광투시 유도 진단 및 중재 절차의 8.5%를 차지하며 평균 유효선량은 4 mSv이다. ERCP는 형광투시 유도 중재절차로부터 발생한 총 집단선량의 4-5%를 차지한다(NCRP, 2009).

(150) ERCP에서 형광투시는 내시경 위치와 십이지장과의 관계를 검증하는 데 사용된다. 형광투시로 카테터와 안내강선의 배치 또한 확인한다. 조영제가 주입되면, 형광투시로 담즙과 췌장의 도관 계통 해부를 평가하고 잠재적 질환 여부를

표4.5. 부인과 절차로부터 전형적 환자선량 준위(근사치) 및 CT와 비교

절차	환자의 상대 평균 유효선량		상대 평균 환자선량*	보고된 값				참고문헌 <sup>†</sup>
	0	35		형광투시 시간 (분)	입사피부 선량(mGy)	선량면적곱 (Gycm <sup>2</sup> )	유효선량 (mSv)	
골반계측법, 전통적			A	n.a.	4.2-5.1	1.4	0.4-0.8	a,b,c
골반계측법, 디지털 형광투시법			A	0.3	3.6	0.10-0.46	0.43	d
컴퓨터 단층촬영식 골반계측법			A	n.a.	n.a.	n.a.	0.2	c
자궁난관조영술			B,C	0.3-14	9.7-30	4-7	1.2-3.1	b.c.e.f.g.h.i.j
자궁동맥색전술			E,F	21-36	453-1623	53-89	22-32	l,m

n.a., 자료 없음.

<sup>†</sup> (a) Russel 등, 1980; (b) NCRP, 2009; (c) Hart와 Wall, 2002; (d) Wright 등, 1995; (e) Sulieeman 등, 2008; (f) Gregan 등, 1998;

(g) Perisinakis 등, 2003; (h) Fife 등, 1994; (i) Fernandez 등, 1996; (j) Calcchia 등, 1998; (l) Nikolic 등, 2000; (m) Glomset 등, 2006

\* A, <1 mSv; B, 1-2 mSv; C, 2-5 mSv; D, 5-10 mSv; E, 10-20; F, 20-35 mSv; G, >35 mSv, 유효선량에 기초

판단하게 된다. 최종 투시영상이나 스폿 투과사진으로 영상을 취하여 결과를 기록한다. 마지막으로 형광투시법은 괄약근 절개술, 결석 추출, 생검, 스텐트 배치에서처럼 치료를 보조하기 위해 사용된다. 도관 해부를 직접 보여주는 새로운 장치들이 개발되어야 형광투시 수요가 감소할 것이다 (World Gastroenterology Organisation, 2009).

## 4.5.1. 방사선량 준위

### 환자선량

(151) X선을 사용하는 위장병학과 간담도계 환자의 전형적 선량 준위를 표4.6에 보였다. 단일 또는 이중 조영 바륨관장은 대장(결장과 직장)의 X선 검사이고, 바륨 복용은 상부 위장관의 X선 검사이다. 이러한 위장병학의 전통적 X선 검사는 1-3 mSv(바륨복용과 바륨식)에서 7-8 mSv(소장 관장과 바륨관장)까지의 유효선량을 수반한다(UNSCEAR, 2010). 이런 연구는 주로 영상의학과에서 수행되지만 위장병학자도 대표적인 선량 준위와 위험에 관심을 두는 것이 중요하다. 지금은 방사선 사용이 없는 내시경 절차가 많은 바륨 연구를 대체하고 있다.

(152) 환자는 X선관에서 나오는 직접 빔에 노출된다. ERCP중 환자는 2-16분 형광투시를 받는 것으로 평가되지만 치료 절차에서는 훨씬 오래 걸린다. ERCP에서 DAP는 대략 13-66 Gy $cm^2$ 이 전형적이며 유효선량 범위는 절차 당 2-6 mSv 범위에 있다는 연구결과가 있다.(World Gastroenterology Organisation, 2009).

(153) 기술이 발전될수록 내시경 절차 중인 환자를 다루는 일이 점점 복잡해지고 있다. 이런 높은 복잡성 때문에 치료 ERCP 선량이 일반적으로 진단 ERCP 선량보다 높다. 진단 ERCP의 평균 DAP는 14-26 Gy  $cm^2$ 일 때, 치료 ERCP의 DAP는 67-89 Gy $cm^2$ 이다. 진단 ERCP와 치료 ERCP에 상응하는 입사피부선량은 각각 90 mGy와 250 mGy이며 평균 유효선량은 각각 3-6 mSv, 12-20 mSv이다 (Larkin 등, 2001; Olgar 등, 2009). 형광투시 피폭이 차지하는 비율은 진단 ERCP에서 거의 70%, 치료 ERCP에서 90% 이상인데 이는 형광투시 시간을 줄이는 것이 선량관리를 위한 효율적 방법임을 의미한다(Larkin 등, 2001).

표4.6. 위장병학과 간담도 절차로부터 전형적 환자선량 준위(근사치)

절차	환자의 평균 상대 유효선량		평균 상대 환자선량*	보고된 값				비고 <sup>†</sup>
	0	35 mSv		투시시간 (분)	입사 피부선량 (mGy)	선량면적 곱 (Gycm <sup>2</sup> )	유효선량 (mSv)	
ERCP (진단)			C,D	2-3	55-85	15	3-6	a,b
ERCP (치료)			E,F	5-10	179-347	66	20	a,b
생체검사			C	n.a.	n.a.	6	1.6	a,c
담관 스텐딩			E	n.a.	499	43-54	11-14	a,c,d
경피 경감 담관 조영술			D	6-14	210-257	31	8.1	a
담관 배수			F,G	12-26	660	38-150	10-38	a,d,e
경목정맥 간내문맥정맥 단락술 생성			F,G	15-93	104-7160	14-1364	19-87	a,e,f
목정맥 경유 감 생체검사			D	6.8	n.a.	34	5.5	f

ERCP, 내시경적 역행성 췌담관조영술; n.a., 자료 없음.

†(a) UNSCEAR, 2010; (b) Olgar 등, 2009; (c) Hart 등, 2002; (d) Dauer 등, 2009; (e) Miller 등, 2003a; (f) McParland, 1998.

\*A, <1 mSv; B, 1-<2 mSv; C, 2-<5 mSv; D, 5-<10 mSv; E, 10-<20; F, 20-35 mSv; G, >35 mSv, 유효선량 기준.



(154) 형광투시 유도 경피경간 담도배액술(percutaneous transhepatic biliary drainage)과 스텐트 이식 절차에서의 예상 방사선량 및 해당 위험은 젊은 환자가 이러한 절차를 거치면 그 방사선 유발 위험이 상당함을 나타낸다. 평균 유효선량은 2 ~ 6 mSv의 범위에 있는데, 이 차이는 절차의 접근(왼쪽 대 오른쪽)이나 방식에 따른 것이다. 그러나 형광투시가 오래 계속되면 유효선량이 30 mSv 이상일 수 있다(Stratakis 등, 2006; UNSCEAR, 2010). 가용한 문헌에서는 답즙 배액의 DAP 값이 38-180 Gy $\text{cm}^2$  범위에 있고, DAP를 유효선량으로 바꾸는 적절한 환산인자를 적용하면 이는 절차 당 유효선량 10-38 mSv에 해당한다고 기록한다(Miller 등, 2003a; Dauer 등, 2009; UNSCEAR, 2010).

### 종사자 선량

(155) 소화기내과 의사와 관련 의료진의 경우 X선 노출의 주된 선원은 X선 빔이 아니라 환자로부터 산란된 방사선이다. 납치마를 입은 내시경 전문의의 평균 유효선량은 2-70  $\mu\text{Sv}$ /절차였다(Olgar 등, 2009; World Gastroenterology Organisation, 2009). 납치마에 의해 충분히 방호되는 내시경 전문의의 몸을 제외한 차폐되지 않은 부위는 상당한 선량을 받을 수 있다. ERCP의 절차에서 두경부(눈과 갑상선)는 일반적으로 94-340  $\mu\text{Gy}$ , 손가락은 280-830  $\mu\text{Gy}$ 를 선량을 받는다고 보고되었다(Buls 등, 2002; Olgar 등, 2009). 피부간경유쓸개간조영술(percutaneous transhepatic cholangiography (PTC)의 경우 두경부에는 300-360  $\mu\text{Gy}$ /절차, 손가락은 530-1000  $\mu\text{Gy}$ /절차의 선량을 받는다고 보고되었다(Olgar 등, 2009). Naidu 등(2005)은 일주일에 3~4 절차 업무부담으로 ERCP를 수행하는 종사자의 갑상선과 손의 연간 추정 선량은 각각 40 mSv와 7.92 mSv로 보고했다. 보조 의료진은 환자로부터 떨어져 있기 때문에, 위치와 X선원 근처에 머무르는 시간에 따라 차이는 있지만 선량은 대체로 낮다(World Gastroenterology Organisation, 2009).

(156) Jorgensen 등(2010)은 ERCP 수행자의 전형적인 연간 업무부담을 보고하였는데, 34%는 연간 100 절차 미만을 수행하고, 38%는 연간 100-200 절차, 나머지 28%는 200 절차 이상을 수행하는 것으로 나타났다.

(157) ERCP나 형광투시를 수행하는 소화기내과 의사가 노출되는 선량 수준에서는 방사선의 보건영향을 내보이는 것은 불가능하다. 적절한 방호용구와 방호원칙이 적용될 때 이런 의사는 연간 유효선량은 일반적으로 0-3mSv이다(World Gastroenterology Organisation, 2009). 그렇지만 방사선을 이용해 진료를 행하

는 많은 소화기내과 의사가 완전한 방호복(방호 앞치마, 갑상선 가리개, 방호안경)을 일상적으로 착용하지 않는다. ERCP를 수행하는 종사자의 방사선 노출에 관한 감사에서 응답자의 절반만이 갑상선 가리개를 사용하기 때문에 종사자가 상당한 양의 방사선에 노출될 수 있음을 확인하였다(Frenz와 Mee, 2005).

(158) 경피적 담관조영술과 담도배액술과 같은 형광투시 유도 경피적 과정에서 손, 목, 이마, 생식선의 전형적 등가선량은 손에 13-220  $\mu\text{Sv}$ , 갑상선과 눈의 수정체가 0.007-0.027  $\mu\text{Sv}$ 이며, 납치마 아래에 있는 생식선 선량은 무시할 수 있는 수준이다. 평가된 연간 선량 수준은 직무피폭에 대한 법정 한도보다 아래에 있다(Benea 등, 1988).

(159) 침상 위 X선관이 중재절차 수행에는 적당하지 않다는 사실이 잘 알려져 있지만, ERCP는 흔히 이러한 배열을 사용해왔다. Olgar 등(2009)은 소화기내과 의사의 눈과 목의 전형적 선량을 각각 94  $\mu\text{Gy}$ 와 75  $\mu\text{Gy}$ 로 보고하였다. 침상 위 X선 배열에서 눈과 목의 전형적 선량은 각각 550  $\mu\text{Gy}$ 와 450  $\mu\text{Gy}$ 였고, 최대는 각각 2.8 mGy와 2.4 mGy였다(Buls 등, 2002). 중간 업무부담에서 눈의 수정체에 대한 선량한도인 20 mSv에 이를 수 있어 수정체 선량이 매우 중요하다. 이는 사용하는 X선장치의 종류에 따라서 의존한다.

## 4.5.2. 방사선량 관리

### 환자선량 관리

(160) 순수하게 진단을 목적으로 할 때는 대안(예: 자기공명 담관이자조영술)을 이용하며, 가능한 ERCP는 중재 방사선이 필요할 상황에 대비하여 남겨둬야 한다(Williams 등, 2008). 침상 위에 X선관을 두는 절차에서 보고된 종사자 선량 준위는 ERCP 절차에서 종종 장비와 방사선방호에 주의하지 않고 수행되는 것을 나타낸다. 펄스모드 형광투시가 가능한 C-arm을 바르게 사용할 경우 환자와 종사자의 선량을 크게 줄일 수 있음은 분명하다(Buls 등, 2002). 게다가 복부와 골반의 다양한 형광 투시 검사에 대해, 그리드 제어가 가능한 펄스모드의 형광투시법을 사용하게 되면 전통적인 연속 형광투시에 비해 진단 정확도가 떨어지지 않는데도 환자의 선량을 상당히 낮출 수 있다.(Boland 등, 2000).

(161) 어떤 절차든 간에 형광투시법의 유도를 받는다면 가능한 짧게 사용하길 권고한다. 한시적 형광투시를 사용하면 환자와 형광투시 시간이 감소하므로 종사

자와 환자 선량을 상당히 줄일 수 있다(Uradomo 등, 2007).

(162) ERCP에서 최선의 방법은 X선관을 침상 아래에 가능한 멀리 위치시키고, 자신은 X선관이나 환자로부터 가능한 멀리 서며, 방호 앞치마와 갑상선 보호대 및 납이 함유된 안경을 사용하는 것이다. 운영 조건의 최적 유지, 펄스모드 형광투시 사용, 형광투시 시간 최소화, 투과영상 수 제한, 차폐체와 콜리메이터 사용, 그리고 저배율 사용이 종사자뿐만 아니라 환자에게도 X선 피폭을 줄이는데 도움을 준다. 방사선 노출을 증가시키는 것들(장시간 형광투시, 다수의 투과영상 획득, 선원에 근접, 환자 위에 X선관 배치, 환자에 근접한 종사자 등)은 방사선량 뿐만 아니라 잠재적인 위험도 증가시킨다.

(163) 제3장에 설명한 환자선량 관리를 위한 조치는 일반적으로 위장병학과 간담췌 절차에도 적용된다.

### 종사자 선량 관리

(164) 환자와 종사자의 피폭은 연계되어 있다. 환자선량을 줄이는 모든 조치는 종사자 선량도 낮춘다.

(165) ERCP와 TIPS(경정맥 간내문맥정맥단락술transjugular intrahepatic portosystemic shunt)는 높은 종사자 선량을 유발할 잠재성을 갖고 있으므로 방사선방호에 대한 주의가 필요하다. 보고된 선량 수준을 보면 ERCP와 TIPS는 모든 중재 절차와 같은 방사선방호를 요구한다. 중재 절차에서 방사선방호 이슈는 ICRP 85(ICRP, 2001)에서 다뤘다.

(166) 위장병학 의료인이 방사선 장비를 안전하게 사용하기 위해서는 구체적인 서면 방침과 절차를 이용할 수 있어야 한다. 제3장에 기술한 바와 같이 거리, 시간, 차폐를 적절하게 사용하면 내시경 분야의 의료진 직무피폭은 제한적이 될 것이다. 예를 들면 0.5 mm 납 등가 아크릴 차폐를 잘 배치하면 직무피폭을 1/11 수준으로 감소시킬 것이다(Chen 등, 1996). 기본적인 선량 관리 조치 외에 앞면에 납치마를 착용한다면 항상 방사선 방출원을 향해 서야 한다. 이것이 용이하지 않고 업무상 방사선원을 등지기도 하는 의료진은 몸 둘레를 보호하고 감싸는 모양의 납치마를 착용해야 한다(SGNA, 2008).

(167) 제3장에서 소개했듯이 훈련과 경험은 선량을 줄이는 유력한 수단이다. ERCP 경험이 풍부하거나 직전 해에 많은 수의 ERCP를 수행한 내시경학자가

ERCP를 수행하면 형광투시 시간이 단축된다. 지난해 100회 미만과 100-200회의 ERCP 절차를 수행한 내시경학자는 200회 이상을 수행한 내시경학자보다 형광투시 시간이 각각 59%와 11% 높게 나타났다. 또한, 매 10년의 경험이 20%의 형광투시 시간을 단축시킨다(Jorgensen 등, 2010).

## 4.6. 마취 및 통증관리

(168) 국부 척추통과 신경근병증은 흔한 질환이다. 많은 경우에 영상의 특이점이 증상과 연관성을 보여주지 않기 때문에 환자가 구체적 진단을 받지 못해 계속 통증에 시달린다. 경피주사는 요통 치료에 사용해 왔지만 아직도 논쟁은 있다. 이러한 절차는 역사적으로 대개 영상유도 없이 수행되었다. 형광투시나 CT를 통한 영상유도 기술은 이러한 절차의 정밀도를 증가시키고 바늘의 위치를 확인하는데 도움을 준다. 영상유도 기술이 더 좋은 결과를 내며 부작용도 줄이기 때문에 점점 보편화되고 있다(Silbergleit 등, 2001). 경막외 주사는 보존적 질병관리에 실패했거나 수술을 기피하거나 수술할 수 없는 환자의 하부 통증을 치료하는데 흔히 사용된다(Wagner, 2004).

(169) 형광투시 유도 경막외 주사에서 연속적 형광투시가 사용된 때에 환자선량이 더 높다고 보고되었다. 펄스모드 형광투시를 사용하면 환자의 유효 선량률이 현저히 감소하는데 매초 펄스율이 3, 7.5, 15일 때 유효선량은 각각 0.08, 0.11, 0.18 mSv였다(Schmid 등, 2005). 동영상 CT<sup>20)</sup> 유도에서는 환자의 전형적 유효선량은 후속 스캔 수행 횟수에 따라 차이는 있지만 표준 프로토콜에서 1.5-3.5 mSv 범위에, 낮은 선량 프로토콜에서는 0.22-0.43 mSv 범위에 있었다. 따라서 펄스모드 형광투시법을 적용함으로써 유효선량을 80-90% 줄였고 낮은 선량 CT 프로토콜에서는 mA와 X선관 회전시간을 줄임으로써 유효선량이 85% 이상 감소한 것으로 나타났다(Schmid 등, 2005).

---

20) <역주> '동영상 CT'란 용어는 'CT fluoroscopy'를 의미한다. 전통적 'fluoroscopy'는 피사체를 투과한 X선이 형광관 영상수감부에 영상을 만들고 이를 CCTV 카메라가 촬영하여 동영상을 전시하는 시스템이다. 따라서 이 번역본에서도 영상강화기와 같은 전통적 영상화 기술에 대해서는 전통적 용어인 '형광투시'를 사용했다. 그러나 CT의 영상수감부는 섬광검출기나 반도체검출기를 배열한 것으로서 그 영상도 '형광' 영상이 아니고 컴퓨터에 의해 재구성과정을 거쳐 만들어진다. 현대 CT는 스캔 속도와 재구성 연산속도가 빨라 거의 실시간으로 재구성 영상을 전시할 수 있기에 전통적 형광투시처럼 동영상을 구현할 수 있다. 이 기술이 CT fluoroscopy 또는 real-time CT인데 'CT 형광투시'로 적기는 어색하여 '동영상 CT' 사용을 시도했다. 같은 맥락에서 '실시간 CT'도 무방하다고 본다.

(170) 동영상 CT 유도 요신경근 차단술에서 시술자의 선량은 납치마 밖에서 절차 당 1-8  $\mu\text{Sv}$ 가 전형적이다(Wagner, 2004).

(171) 시술자 선량에 크게 영향을 미치는 인자로는 장비 기술, 차폐 사용, 시술자 경험, mA, 그리고 스캔 체적이다. 환자선량도 이들 인자와 함께 펄스 형광투시를 쓰거나 동영상 CT 유도에서는 낮은 mA를 써서 크게 줄일 수 있다(Wagner, 2004; Schmid 등, 2005).

## 4.7. 감시림프절 생검

(172) 감시림프절(sentinel lymph node(SLN))은 암이 원발 종양으로부터 전이하는 첫 림프절이다. 암세포가 다른 림프절로 퍼지기 전에 SLN에 나타나는 것으로 보인다. 감시림프절 생검(SLNB)은 암세포가 원발 종양으로부터 SLN, SLN에서 다른 림프절로 순차적으로 퍼져 나가는(전이) 것을 전체로 한다. SLNB결과가 음성이면 암이 림프절로 퍼지지 않았다고 본다. 결과가 양성이면 암이 SLN에 존재하고, 동일 영역의 다른 림프절(국소 림프절)에도 존재할 수 있음을 나타낸다.

(173) 유방, 외음부, 음경, 두경부의 암이나 흑색종 환자에서 방사선위치측정으로 림프절 전이를 정확하게 예측하고 그 SLN을 선택적으로 절제할 수 있었음을 보이는 보고가 여럿 있다. 진행중인 연구로 대상 목록이 확장되고 있다. 이 절차에서 SLN의 정확한 식별이 무엇보다 중요하다. SLNB는 초기 유방암을 관리하는 기준으로 발전되고 있다. SLNB에서는 종양으로부터 배액되는 첫째 림프절만 떼내어 분석한다. 국부 제어를 위한 청소는 SLNB 결과가 양성일 때만 이루어진다.

(174) SLN 식별에 다양한 기술이 사용되지만, 종양에 방사성추적자를 주입하는 기술이 가장 보편적이다. 수술 전의 림프절 신티그라피가 외과의사에게 로드맵을 제공하는데 여기에는 보고서식이 필요하다. 테크네슘( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) 황 콜로이드가 십여 년 동안 사용되어 유방암 단계 진단의 개선 가능성을 제공했고 악영향도 줄였다. 핫 림프절(hot node)을 찾아 제거하는 데에는 수술 중 감마선 측정을 사용한다.

(175) 수술실에서 방사성물질 사용은 방사선피폭에 대한 우려를 높인다. 이 기술에 의존도가 높아지고 있으므로 방사선안전에 경험이 없는 사람이 사용하는 일도 늘어날 것이다.

## 4.7.1. 방사선량 수준

### 환자선량

(176)  $^{99m}\text{Tc}$ 의 황 또는 나노 콜로이드가 방사성추적자로 널리 사용되어 왔는데, 근년에는 양전자 방출 방사성의약품 쪽으로 옮겨가는 경향이 있다.  $^{99m}\text{Tc}$ 는 순수한 감마 방출체이다. 콜로이드로 주사하면 목표에 머무르는데 이 절차에서 사용되는 방사능 수준에서 환자선량은 매우 적다. 그래서 SLNB 절차에서 환자선량에 대한 보고는 부족하고, 대부분 논문은 직무피폭의 문제를 다룬다. 임신한 환자와 태아에 대한 방사선량은 살펴볼 필요가 있다. 18.5 MBq의  $^{99m}\text{Tc}$  콜로이드를 사용하는 경우 예상되는 태아 선량은 보통 0.1 mGy 미만(전형적으로  $\leq 0.01$  mGy)이고, 환자의 유효선량은 일반적으로 0.5 mSv 이하이다. 임상적 이점이 있고 대등한 정보를 제공할 대안기술이 없다면, 이 선량은 방사선 기술이라서 임신 여성에게 그 사용을 배제하기에는 너무 낮다. 이 기술을 사용한 경우에는 신중한 고려를 했다는 사실을 기록해야 한다<sup>21)</sup>(Pandit-Taskar 등, 2006; Spanheimer 등, 2009).

### 종사자 선량 수준

(177) SLNB에서 방사성 추적자를 주사하는 의사는 손에 2.3-48  $\mu\text{Sv}/\text{건}$ , 최대 164  $\mu\text{Sv}$ 를 받는 것으로 나타났다. 외과의사는 한 건 당 손에 2-8  $\mu\text{Sv}$ 의 등가선량을 받는다(Neic 등, 2006). 그러나 적용 기술에 따라 수술 담당 의사는 손에 22-153  $\mu\text{Sv}$ 까지 높은 등가선량을 받는다는 연구도 있다(De Kanter 등, 2003). 의외로 의료진의 다른 직위도 비슷한 선량(4.3-7.9  $\mu\text{Sv}/\text{건}$ )을 받는 것으로 나타났다(Neic 등, 2006). 몇몇 다른 연구도 SLNB에서 비슷하게 작은 직무피폭을 보고했다(Miner 등, 1999; Waddington 등, 2000; Klausen 등, 2005). 일반적인 병원에서 업무부담 연간 20명을 고려하면, 매년 손이 받는 등가선량은 3 mSv까지 예상되는데, ICRP가 권고한 등가선량한도는 500 mSv이다.

---

21) <역주> 일반인의 방사선에 대한 인식은 매우 민감해서 특히 아동이나 태아라면 의료절차로 인한 피폭인 경우에도 이의제기가 따를 수 있기 때문이다. 임신 여성에게 방사선 사용은 당사자나 보호자와 충분한 소통(이해동의)을 거쳐 신중히 결정하되 그렇게 시행했다면 그 내용을 환자기록에 충실히 남기는 것이 잠재적 의료분쟁을 대비해 필요하다.

## 4.7.2. 방사선량 관리

### 환자선량 관리

(178) 방사선방호 최적화 원칙은 원하는 임상정보를 얻는 데 필요한 최소량의 방사능을 사용하는 것을 권장한다. 나아가 유사한 정보를 얻을 수 있다면 방사선을 사용하지 않는 대안기술의 사용을 우선해야 한다. 특히 임신 중에는 더욱 그러하다.

### 종사자 선량과 방사성폐기물 관리

(179) 방사성추적자 주사 후 24시간 뒤에, 2일 절차로 SLNB가 수행될 때 의료진의 손 선량은 더 작게 나타나고 있다. 24시간 동안 방사성추적자의 반감기 3번이 지난다( $^{99m}\text{Tc}$ ,  $t_{1/2}=6.02\text{ h}$ ). 더욱이 신체의 제거작용으로 혈액 중 방사성추적자는 방사능은 더욱 줄어든다(Waddington 등, 2000; Nejc 등, 2006).

(180) 수술실이나 병리 실험실에서 방사성오염물이 발생할 것이다. 이 오염물을 충분히 붕괴할 때까지 저장하지 않는다면 처리할 방사성폐기물이 된다.<sup>22)</sup>

(181) 방사선방호와 폐기물처분에 대한 일반적 틀은 ICRP 77(ICRP, 1997)로 발간되어 있다. 방사선방호의 기본목표는 피폭을 초래하지만 유익한 관행을 부당하게 제한하지 않으면서 사람과 환경을 방사선으로부터 방호하는 것임을 기억해야 한다.<sup>23)</sup> ICRP는 2007년 권고(ICRP, 2007b)에서 폐기물처분으로 인한 일반인 피폭에 대해 선량제한치로 ICRP 77의 값(약 0.3 mSv/년 미만)을 유지하고 있다. 감시 립프절 생검과 관련하여 방사성폐기물 특별대책은 필요하지 않지만, 그러한 폐기물은 지역 규정에 따라 폐기물을 지정된 방법으로 폐기하기 전에 밀봉한 상태로 보관해야 한다.<sup>24)</sup>

(182) 수술실에서 사용되는 물건의 방사능 오염은 경미하여 취급에 보통의 주의가 필요한 정도이다. 표본을 몇 시간 보관하여 방사능이 붕괴하도록 만드는 정도

---

22) <역주> 반감기 6시간인  $^{99m}\text{Tc}$  오염물은 며칠만 보관하면 방사능이 거의 소멸한다. 그러면 일반 의료폐기물로 폐기할 수 있다. 만약 감염우려 등의 이유로 보관이 부적절하다면 감염폐기물 처리절차에 따라 소각하게 될 것이다.

23) <역주> 원문은 사람을 방호하기 위한 적절한 표준을 제공하는 것이 목표인 것으로 기술하고 있으나 본래 표현을 약간 벗어났기 때문에 수정했다. 구체적 표현은 ICRP 103을 참조하기 바란다.

24) <역주>  $^{99m}\text{Tc}$ 로 오염된 폐기물은 1주일만 보관하면 방사성물질 규제관리로부터는 해제된다. 따라서 여기서 말하는 지역 규정이란 주로 감염 우려가 있는 의료폐기물 관리에 초점이 있다.

가 SLNB 시료를 다루는 병리학자를 위한 충분한 예방조치이다. 안전지침에 따라 SLNB 절차에서 나온 시료는 선량률이 백그라운드 수준으로 떨어질 때까지 저장해야 한다(Stratmann 등, 1999). 저장에는  $^{99m}\text{Tc}$  황 콜로이드 투여 후, 투여한 방사능에 따라 원발시료는 60-70 시간, 림프절은 30-40 시간이 소요된다(Miner 등, 1999; Filippakis와 Zografos, 2007). 이러한 절차를 수행하기 전에 기관의 위험평가<sup>25)</sup>를 수행해야 한다. 방사성폐기물의 수송과 처분은 국가 규제 요건에 따라야 한다.<sup>26)</sup>

## 4.8. 참고문헌

- American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2008. Radiation Exposure in the OR: is it Safe? American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont, IL. Available at: <http://www.aaos.org/news/aaosnow/dec08/clinicall.asp>. Accessed on 24.7.2010.
- Athwal, G.S., Bueno, R., Wolfe, S.W., 2005. Radiation exposure in hand surgery: mini versus standard Carm. *J. Hand Surg.* 30, 1310-1316.
- Badman, B.L., Rill, L., Butkovich, B., et al., 2005. Radiation exposure with use of the mini-C-arm for routine orthopaedic imaging procedures. *J. Bone Joint Surg.* 87, 13-17.
- Benea, G., Galeotti, R., Tartari, S., et al., 1988. Personnel exposure in intraoperative biliary radiology. *Radiol. Med.* 76, 541-544.
- Bindal, R.K., Glaze, S., Ognoskie, M., et al., 2008. Surgeon and patient radiation exposure in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *J. Neurosurg. Spine.* 9, 570-573.
- Boland, G.W., Murphy, B., Arellano, R., et al., 2000. Dose reduction in gastrointestinal and genitourinary fluoroscopy: use of grid-controlled pulsed fluoroscopy. *AJR Am. J. Roentgenol.* 175, 1453-1457.
- Boszczyk, B., Bierschneider, M., Panzer, S., et al., 2006. Fluoroscopic radiation exposure of the kyphoplasty patient. *Eur. Spine. J.* 15, 347-355.

25) <역주> 위험평가(risk assessment)로 표현하고 있지만 본격적 위험평가 수준은 아니다. 이런 목적으로 사용하는 방사능은 작고 반감기도 짧기 때문이다. 우리나라 제도로 본다면 비밀봉 방사성물질 사용에 허가 받기 위해서는 허가를 받아야 하고 이를 위해서는 '방사선안전보고서'를 첨부해야 하는데 이 보고서가 여기서 말하는 위험평가에 해당하는 것으로 볼 수 있다.

26) <역주> 이 설명도 과도하다. 며칠 보관하면 방사성물질로부터 면제되는 폐기물에 대해 방사성 물질 운송규정을 언급할 필요는 없다.



- Buls, N., Pages, J., Mana, F., et al., 2002. Patient and staff exposure during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Br. J. Radiol.* 75, 435-443.
- Bush, W.H., Jones, D., Brannen, G.E., 1985. Radiation dose to personnel during percutaneous renal calculus removal. *AJRAM. J. Roentgenol.* 145, 1261-1264.
- Calcchia, A., Chiacchiararelli, L., De Felice, C., et al., 1998. Evaluation of effective dose in hysterosalpingography. *Radiat. Prot. Dosim.* 80, 159-161.
- Carter, H.B., Na"slund, E.B., Riehle, R.A., 1987. Variables influencing radiation exposure during extracorporeal shock wave lithotripsy. Review of 298 treatments. *Urology* 30, 546-550.
- Chen, M.Y., Van Swearingen, F.L., Mitchell, R., et al., 1996. Radiation exposure during ERCP: effect of a protective shield. *Gastrointest. Endosc.* 43, 1-5.
- Chen, W.C., Lee, Y.H., Chen, M.T., et al., 1991. Factors influencing radiation exposure during the extracorporeal shock wave lithotripsy. *Scand. J. Urol. Nephrol.* 25, 223-226.
- Ciraj-Bjelac, O., Rehani, M.M., Sim, K.H., et al., 2010. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 76, 826-834.
- Cowan, J.A., Dimick, J.B., Henke, P.K., et al., 2004. Understanding trends in in-patient surgical volume: vascular interventions 1980 to 2000. *J. Vasc. Surg.* 39, 1200-1208.
- Crawley, M.T., Rogers, A.T., 2000. Dose-area product measurements in a range of common orthopaedic procedures and their possible use in establishing local diagnostic reference levels. *Br. J. Radiol.* 73, 740-744.
- Dahlman, P., Jangland, L., Segelsjo" 1, M., 2009. Optimization of computed tomography urography protocol, 1997 to 2008: effects on radiation dose. *Acta Radiol.* 50, 446-454.
- Dauer, L.T., Thornton, R., Erdi, Y., et al., 2009. Estimating radiation doses to the skin from interventional radiology procedures for a patient population with cancer. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 20, 782-788.
- De Kanter, A.Y., Arends, P.P., Eggermont, A.M., et al., 2003. Radiation protection for the sentinel node procedure in breast cancer. *Eur. J. Surg. Oncol.* 29, 396-399.

- European Commission, 2008. European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-ray Procedures. Radiation Protection No. 154. European Commission, Luxembourg.
- Eikefjord, E.N., Thorsen, F., Rørvik, J., 2007. Comparison of effective radiation doses in patients undergoing unenhanced MDCT and excretory urography for acute flank pain. *AJR Am. J. Roentgenol.* 188, 934-939.
- Fazel, R., Krumholz, H.M., Wang, Y., 2009. Exposure to low-dose ionizing radiation from medical procedures. *N. Engl. J. Med.* 361, 849-857.
- Fernández, J.M., Vañó, E., Guibelalde, E., 1996. Patient doses in hysterosalpingography. *Br. J. Radiol.* 69, 751-754.
- Ferrandino, M.N., Bagrodia, A., Pierre, S.A., et al., 2009. Radiation exposure in the acute and short-term management of urolithiasis at 2 academic centres. *J. Urol.* 181, 668-673.
- Fife, I.A., Wilson, D.J., Lewis, C.A., 1994. Entrance surface and ovarian doses in hysterosalpingography. *Br. J. Radiol.* 67, 860-863.
- Filippakis, G., Zografos, G., 2007. Contraindications of sentinel lymph node biopsy: are there any really? *World J. Surg. Oncol.* 5, 10.
- Finnerty, M., Brennan, P.C., 2005. Protective aprons in imaging department: manufacturer stated lead equivalence values require validation. *Eur. Radiol.* 15, 1477-1484.
- Frenz, M.B., Mee, A.S., 2005. Diagnostic radiation exposure and cancer risk. *Gut* 54, 889-890.
- Geijer, H., Larzon, T., Popek, R., et al., 2005. Radiation exposure in stent-grafting of abdominal aortic aneurysm. *Br. J. Radiol.* 78, 906-912.
- Giblin, J.G., Rubenstein, J., Taylor, A., et al., 1996. Radiation risk to the urologist during endourologic procedures, and a new shield that reduces exposure. *Urology* 48, 624-627.
- Gangopadhyay, S., Scammell, B.E., 2009. Optimising use of the mini C-arm in foot and ankle surgery. *Foot Ankle Int.* 15, 139-143.
- Giachino, A.A., Cheng, M., 1980. Irradiation of the surgeon during pinning of femoral fractures. *J. Bone Joint Surg.* 62-B, 227-229.
- Giannoudis, P.V., McGuigan, J., Shaw, D.L., 1998. Ionising radiation during internal fixation of extracapsular neck of femur fractures. *Injury* 29, 469-472.

- Giordano, B.D., Ryder, S., Baumhauer, J.F., et al., 2007. Exposure to direct and scatter radiation with use of mini C-arm fluoroscopy. *J. Bone Joint Surg.* 89, 948-952.
- Giordano, B.D., Baumhauer, J.F., Morgan, T.L., et al., 2008. Cervical spine imaging using standard C-arm fluoroscopy. Patient and surgeon exposure to ionizing radiation. *Spine* 33, 1970-1976.
- Giordano, B.D., Rechtine, G.R., Baumhauer, J.F., et al., 2009a. Cervical spine imaging using mini C-arm fluoroscopy: patient and surgeon exposure to direct and scatter radiation. *J. Spin. Disord. Tech.* 22, 399-403.
- Giordano, B.D., Baumhauer, J.F., Morgan, T.L., et al., 2009b. Patient and surgeon radiation exposure: comparison of standard and mini C-arm fluoroscopy. *J. Bone Joint Surg.* 91, 297-304.
- Glomset, O., Hellesnes, J., Heimland, N., et al., 2006. Assessment of organ radiation dose associated with uterine artery embolization. *Acta Radiol.* 47, 179-185.
- Goldstone, K.E., Wright, I.H., Cohen, B., 1993. Radiation exposure to the hands of orthopaedic surgeons during procedures under fluoroscopic X-ray control. *Br. J. Radiol.* 66, 899-901.
- Gregan, A.C., Peach, D., McHugo, J.M., 1998. Patient dosimetry in hysterosalpingography: a comparative study. *Br. J. Radiol.* 71, 1058-1061.
- Griffith, D.P., Glesson, M.J., Politis, G., et al., 1989. Effectiveness of radiation control program for dornier hm3 lithotripter. *Urology* 33, 20-25.
- Hellawell, G.O., Mutch, S.J., Thevendran, G., et al., 2005. Radiation exposure and the urologist: what are the risks? *J. Urol.* 174, 948-952.
- Hart, D., Wall, B.F., 2002. Radiation Exposure of the UK Population from Medical and Dental X-ray Examinations. NRPB-W4. National Radiological Protection Board, Chilton.
- Ho, P., Cheng, S.W., Wu, P.M., et al., 2007. Ionizing radiation absorption of vascular surgeons during endovascular procedures. *J. Vasc. Surg.* 46, 455-459.
- Hua, Y., Yang, Y., Chen, S., et al., 2009. Ultrasound-guided establishment of hip arthroscopy portals. *Arthroscopy* 25, 1491-1495.
- Huda, W., Bews, J., Saydak, A.P., et al., 1989. Radiation doses in extracorporeal shock wave lithotripsy. *Br. J. Radiol.* 62, 921-926.

- ICRP, 1997. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77. Ann. ICRP 27(Suppl.).
- ICRP, 2000. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. Ann. ICRP 30(1).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2).
- ICRP, 2007a. Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT). ICRP Publication 102. Ann. ICRP 37(1).
- ICRP, 2007b. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
- Jones, D.P., Robertson, P.A., Lunt, B., et al., 2000. Radiation exposure during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion in the lumbar spine. *Spine* 25, 1538-1541.
- Jorgensen, J.E., Rubenstein, J.H., Goodsitt, M.M., et al., 2010. Radiation doses to ERCP patients are significantly lower with experienced endoscopists. *Gastrointest. Endosc.* 72, 58-65.
- King, J., Champlin, A., Kelsey, C., et al., 2002. Using a sterile disposable protective surgical drape for reduction of radiation exposure to interventionalists. *AJR Am. J. Roentgenol.* 178, 153-157.
- Klausen, T.L., Chakera, A.H., Friis, E., et al., 2005. Radiation doses to staff involved in sentinel node operations for breast cancer. *Clin. Physiol. Funct. Imag.* 25, 196-202.
- Kramer, R., Khoury, H.J., Lopes, C., et al., 2006. Equivalent dose to organs and tissues in hysterosalpingography calculated with the FAX (Female Adult voXel) phantom. *Br. J. Radiol.* 79, 893-899.
- Kumari, G., Kumar, P., Wadhwa, P., et al., 2006. Radiation exposure to the patient and operating room personnel during percutaneous nephrolithotomy. *Int. Urol. Nephrol.* 38, 207-210.
- Larkin, C.J., Workmann, A., Wright, R.E., et al., 2001. Radiation doses to patients during ERCP. *Gastrointest. Endosc.* 53, 161-164.
- Larsen, A.S., Pedersen, R., Sandbaek, G., 2005. Computed tomography of the urinary tract: optimisation of low-dose stone protocol in a clinical setting. *Acta Radiol.* 46, 764-768.
- Larson, B.J., Egbert, J., Goble, E.M., 1995. Radiation exposure during fluoroarthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction. *Am. J. Sports Med.* 23, 462-464.

- Larson, B.J., DeLange, L., 2008. Fluoroscopically-assisted hamstring ACL reconstruction. *Orthopaedics* 31, 657-662.
- Levin, P.E., Schoen, R.W., Browner, B.D., 1987. Radiation exposure to the surgeon during closed interlocking intramedullary nailing. *J. Bone Joint Surg.* 69, 761-766.
- Lipsitz, E.C., Veith, F.J., Ohki, T., et al., 2000. Does the endovascular repair of aortoiliac aneurysms impose a radiation safety hazard to vascular surgeons? *J. Vasc. Surg.* 32, 704-710.
- Livingstone, R.S., Koshy, C.G., Raj, D.V., 2004. Evaluation of work practices and radiation dose during adult micturating cystourethrography examinations performed using a digital imaging system. *Br. J. Radiol.* 74, 927-930.
- Love, G., Pillai, A., Gibson, S., 2008. Use of the mini C-arm for wrist fractures – establishing a diagnostic reference level. *Radiat. Prot. Dosim.* 128, 309-311.
- MacNamara, A., Hoskins, P., 1999. Patient radiation dose during lithotripsy. *Br. J. Radiol.* 72, 495-498.
- Mancini, J.G., Ferrandino, M.N., 2010. The impact of new methods of imaging on radiation dosage delivered to patients. *Curr. Opin. Urol.* 20, 163-168.
- McParland, B.J., 1998. A study of patient radiation doses in interventional radiological procedures. *Br. J. Radiol.* 71, 175-185.
- McPhee, J., Eslami, M.H., Arous, E.J., et al., 2009. Endovascular treatment of ruptured abdominal aortic aneurysms in the United States (2001-2006): a significant survival benefit over open repair is independently associated with increased institutional volume. *J. Vasc. Surg.* 49, 817-826.
- Mehlman, C.T., DiPasquale, T.G., 1997. Radiation exposure to the orthopaedic surgical team during fluoroscopy: 'how far away is far enough?' *J. Orthop. Trauma* 11, 392-398.
- Mei-Dan, O., Kots, E., Barchilon, V., et al., 2009. A dynamic ultrasound examination for the diagnosis of ankle syndesmotic injury in professional athletes: a preliminary study. *Am. J. Sports Med.* 37, 1009-1016.
- Mesbahi, A., Rouhani, A., 2008. A study on the radiation dose of the orthopaedic surgeon and staff from a mini C-arm fluoroscopy unit. *Radiat. Prot. Dosim.* 132, 98-101.

- Mettler, F.A., Huda, W., Yoshizumi, T.T., et al., 2008. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology* 248, 254–263.
- Miller, D.L., Balter, S., Cole, P.E., et al., 2003a. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part I. Overall measures of dose. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 14, 711–727.
- Miller, D.L., Balter, S., Cole, P.E., et al., 2003b. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part II. Skin dose. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 14, 977–990.
- Miner, T.J., Chriver, C.D., Flicek, P.R., et al., 1999. Guidelines for the safe use of radioactive materials during localization and resection of the sentinel lymph node. *Ann. Surg. Oncol.* 6, 75–82.
- Müller, L.P., Suffner, J., Wenda, K., et al., 1998. Radiation exposure to the hands and the thyroid of the surgeon during intramedullary nailing. *Injury* 29, 461–468.
- Nagashima, H., Yoshimoto, S., Ikenaga, S., et al., 2001. Optimization of patient skin dose and image quality for hysterosalpingography (HSG). *Jpn. J. Radiol. Technol.* 57, 1562–1569.
- Naidu, L.S., Singhal, S., Preece, D.E., et al., 2005. Radiation exposure to personnel performing endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Postgrad. Med. J.* 81, 660–662.
- Nakamura, K., Ishiguchi, T., Maekoshi, H., et al., 1996. Selective fallopian tube catheterisation in female infertility: clinical results and absorbed radiation dose. *Eur. Radiol.* 6, 465–469.
- Nawfel, R.D., Judy, P.F., Schleipman, A.R., et al., 2004. Patient radiation dose at CT urography and conventional urography. *Radiology* 232, 126–132.
- NCRP, 2000. Radiation Protection for Procedures Performed Outside the Radiology Department. NCRP Report 133. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 160.
- National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- Nejc, D., Wrzesien, M., Piekarski, J., et al., 2006. Sentinel node biopsy in skin melanoma patients – measurements of absorbed doses of radiation to the hands of medical staff. *J. Surg. Oncol.* 93, 355–361.

- Nikolic, B., Spies, J., Lundsten, M., et al., 2000. Patient radiation dose associated with uterine artery embolization. *Radiology* 214, 121–125.
- Nordeen, M.H., Shergill, N., Twyman, R.S., et al., 1993. Hazard of ionizing radiation to trauma surgeons. Reducing the risk. *Injury* 24, 562–564.
- Olgar, T., Bor, D., Berkmen, G., et al., 2009. Patient and staff doses for some complex X-ray examinations. *J. Radiol. Prot.* 29, 393–407.
- Pandit-Taskar, N., Dauer, L.T., Montgomery, L., et al., 2006. Organ and fetal absorbed dose estimates from  $^{99m}\text{Tc}$ -sulfur colloid lymphoscintigraphy and sentinel node localization in breast cancer patients. *J. Nucl. Med.* 47, 1202–1208.
- Perisinakis, K., Damilakis, J., Grammatikakis, J., et al., 2003. Radiogenic risks from hysterosalpingography. *Eur. Radiol.* 13, 1522–1528.
- Perisinakis, K., Damilakis, J., Theocharopoulos, N., 2004. Patient effective dose and radiogenic risks from fluoroscopically assisted surgical reconstruction of femoral fractures. *Radiat. Prot. Dosim.* 108, 65–72.
- Phillips, J., Cochavi, S., Silberzweig, J.E., 2010. Hysterosalpingography with use of mobile C-arm fluoroscopy. *Fertil. Steril.* 93, 2065–2068.
- Rampersaud, Y.R., Foley, K., Shen, A., et al., 2000. Radiation exposure to the spine surgeon during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion. *Spine* 25, 2637–2645.
- Russel, J.G.B., Hufton, A., Pritchard, C., 1980. Gridless (low radiation dose) pelvimetry. *Br. J. Radiol.* 53, 233–236.
- Safak, M., Olgar, T., Bor, D., et al., 2009. Radiation doses of patients and urologists during percutaneous nephrolithotomy. *J. Radiol. Prot.* 29, 409–415.
- Sanders, R., Koval, K.J., DiPasquale, T., et al., 1993. Exposure of the orthopaedic surgeon to radiation. *J. Bone Joint Surg.* 75, 326–330.
- Sandilos, P., Tsalafoutos, I., Koutsokalis, G., et al., 2006. Radiation doses to patients from extracorporeal shockwave lithotripsy. *Health Phys.* 90, 583–587.
- Schmid, G., Schmitz, A., Borchardt, D., 2005. Effective dose of CT- and fluoroscopy-guided perineural/epidural injections of the lumbar spine: a comparative study. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 29, 84–91.
- Schueler, B., 2010. Operator shielding: how and why. *Tech. Vasc. Interv. Rad.* 13, 167–171.
- Seibert, J., 2004. Vertebroplasty and Kyphoplasty: do Fluoroscopy

- operators know about radiation dose, and should they want to know? *Radiology* 232, 633–634.
- SGNA, 2008. SGNA guideline: radiation safety in the endoscopy setting. *Gastroenterol. Nurs.* 31, 308–311.
- Silbergleit, R., Mehta, B.A., Sanders, W., 2001. Imaging-guided injection techniques with fluoroscopy and CT for spinal pain management. *RadioGraphics* 21, 927–942.
- Singer, G., 2005. Occupational radiation exposure to the surgeon. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 13, 69–76.
- Spanheimer, P.M., Graham, M.M., Sugg, S.L., et al., 2009. Measurement of uterine radiation exposure from lymphoscintigraphy indicates safety of sentinel lymph node biopsy during pregnancy. *Ann. Surg. Oncol.* 16, 1143–1147.
- Storm, E.S., Miller, D.L., Hoover, L.J., et al., 2006. Radiation doses from venous access procedures. *Radiology* 238, 1044–1050.
- Stratakis, J., Damilakis, J., Hatzidakis, A., et al., 2006. Radiation dose and risk from fluoroscopically guided percutaneous transhepatic biliary procedures. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 17, 77–84.
- Stratmann, S.L., McCarty, T.M., Kuhn, J.A., 1999. Radiation safety with breast sentinel node biopsy. *Am. J. Surg.* 178, 454–457.
- Suhm, N., Jacob, A., Zuna, A.L., et al., 2001. Radiation exposure of the patient by intraoperative imaging of intramedullary osteosynthesis. *Radiologe* 41, 91–94.
- Sulieman, A., Theodorou, K., Vlychou, M., et al., 2008. Radiation dose optimisation and risk estimation to patients and staff during hysterosalpingography. *Radiat. Prot. Dosim.* 128, 217–226.
- Tack, D., Sourtzis, S., Delpierre, I., et al., 2003. Low-dose unenhanced multidetector CT of patients with suspected renal colic. *AJR Am. J. Roentgenol.* 180, 305–311.
- Talati, J., Khan, S., Biyabani, R., et al., 2000. Reduction of radiation exposure to patients in the followup of shockwave lithotripsy. *BJU Int.* 85, 404–407.
- Theocharopoulos, N., Perisinakis, K., Damilakis, J., et al., 2003. Occupational exposure from common fluoroscopic projections used in orthopaedic surgery. *J. Bone Joint Surg.* 85, 698–1703.
- Thomas, S.M., Bees, N.R., Adam, E.J., 1998. Trends in the use of pelvimetry techniques. *Clin. Radiol.* 53, 293–295.



- Tsalafoutas, I.A., Tsapaki, V., Kaliakmanis, A., et al., 2008. Estimation of radiation doses to patients and surgeons from various fluoroscopically guided orthopaedic surgeries. *Radiat. Prot. Dosim.* 128, 112–119.
- UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report. United Nations, New York.
- Uradomo, L.T., Goldberg, E.M., Darwin, P.E., 2007. Time-limited fluoroscopy to reduce radiation exposure during ERCP: a prospective randomized trial. *Gastrointest. Endosc.* 66, 84–89.
- Vanó, E., Kleiman, N.J., Duran, A., et al., 2010. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat. Res.* 174, 490–495.
- Waddington, W.A., Keshtgar, M.R., Taylor, I., et al., 2000. Radiation safety of the sentinel lymph node technique in breast cancer. *Eur. J. Nucl. Med.* 27, 377–391.
- Wagner, A., 2004. CT fluoroscopy-guided epidural injections: technique and results. *Am. J. Neuroradiol.* 25, 1821–1823.
- Weerakkody, R.A., Walsh, S.R., Cousins, C., et al., 2008. Radiation exposure during endovascular aneurysm repair. *Br. J. Surg.* 95, 699–702.
- Weiss, D.B., Jacobson, J.A., Karunakar, M.A., 2005. The use of ultrasound in evaluating orthopaedic trauma patients. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 13, 525–533.
- Weiss, D.J., Pipinos, I., Longo, G.M., et al., 2008. Direct and indirect measurement of patient radiation exposure during endovascular aortic aneurysm repair. *Ann. Vasc. Surg.* 22, 723–729.
- World Gastroenterology Organisation, 2009. Radiation Protection in the Endoscopy Suite. Minimizing Radiation Exposure for Patients and Staff in Endoscopy: a Joint ASGE/IAEA/WGO Guideline. World Gastroenterology Organisation. Available at: [http://www.worldgastroenterology.org/radiation\\_protection\\_in\\_the\\_endoscopy\\_suite.html](http://www.worldgastroenterology.org/radiation_protection_in_the_endoscopy_suite.html). Accessed on 23.8.2010.
- Williams, E.J., Green, J., Beckingham, I., et al., 2008. Guidelines on the management of common bile duct stones (CBDS). *Gut* 57, 1004–1021.
- Wright, D.J., Godding, L., Kirkpatrick, C., 1995. Technical note: digital radiographic pelvimetry – a novel, low dose, accurate technique. *Br. J. Radiol.* 68, 528–530.
- Yakoumakis, E., Tsalafoutas, I.A., Nikolaou, D., et al., 2001. Differences in effective dose estimation from dose-area product and entrance surface

- dose measurements in intravenous urography. *Br. J. Radiol.* 74, 727–734.
- Yanch, J.C., Behrman, R.H., Hendricks, M.J., et al., 2009. Increased radiation dose to overweight and obese patients from radiographic examinations. *Radiology* 252, 128–139.
- Yang, R.M., Morgan, T., Bellman, G.C., 2002. Radiation protection during percutaneous nephrolithotomy: a new urologic surgery radiation shield. *J. Endourol.* 16, 727–731.
- Zoeller, G., May, C., Vosschenrich, R., et al., 1992. Digital radiography in urologic imaging: radiation dose reduction on urethrocytography. *Urol. Radiol.* 14, 56–58.

## 제5장 임신과 아동

- 임신 중인 환자에 대한 의료방사선 사용은 정당화되며 태아선량을 낮추기 위한 노력은 필요하다.
- 100 mGy 이하 태아선량에서 임신중절은 방사선위험으로는 정당화되지 않는다.
- 임신한 종사자가 임신을 선언하면 배태아 선량을 1 mSv로 제한하는 것이 임신 중인 여성이 방사선과 관계된 업무를 완전히 피해야 한다거나 지정된 방사선구역에 출입하지 말아야 한다는 것을 의미하지는 않는다.
- 임신 기간 중 태아선량을 1 mSv 이하로 유지할 수 있다는 합리적인 확신이 있다면, 임신 중인 의료 종사자도 방사선환경에서 근무해도 좋다. 이는 고용주가 임신 여성의 피폭환경을 면밀히 검토해야 함을 의미한다.

### 5.1. 환자피폭과 임신

(183) 임신 여성의 의료피폭은 태아의 방사선위험과 절차를 수행하지 않음으로 인한 위험의 상충 때문에 의료인에게 특별한 도전이다. 매년 수 천 명의 임신한 환자나 종사자가 방사선을 피폭한다. 지식 부족은 큰 불안과 불필요한 임신중절의 원인이 된다(ICRP, 2000). 이 장은 임신이 알려진 상황에 초점을 맞추지만 임신이 알려지지 않거나 고지되지 않은 상황에 대해서도 논의한다. ICRP는 이 주제를 ICRP 84(ICRP, 2000)에서 깊이 있게 다루었다.

(184) 성장 중인 태아의 태내 피폭에 의한 잠재적 생물학적 영향에는 태내 사망, 자궁 내 발육부진, 소두증, 정신지체, 장기 기형, 소아암이 포함된다. 각 영향의 위험은 피폭 당시의 태령, 태아의 세포 수선기전과 흡수선량 크기에 의존한다(ICRP, 2000; McCollough 등, 2007).

(185) 진단방사선 검사로 인한 방사선이 태아에게 어떤 유해한 영향을 초래할 가능성은 낮지만 방사선 유발 영향을 완전히 배제될 수는 없다. 태아가 받는 방사선량은 다양하다. 태아가 1차빔에 있지 않을 때는 선량이 사소하지만 1차빔에 있거나 그 경계 가까이에 위치할 때는 상당한 선량을 받는다. 따라서 미래 계획

을 필요로 한다. 방사선위험은 기관형성기와 초기 태아기에 가장 높고 2/3분기에 덜하고 3/3분기에 가장 낮다(ICRP, 2000).

(186) ICRP 84(ICRP, 2000)에서 말했듯이 태내 X선 피폭과 소아암에 대한 많은 역학연구의 분석이 약 10 mGy에서의 상대위험이 1.4가 됨을 보여준다(백그라운드 위험의 40% 증가). 절대위험으로 표현하면 10 mGy 선량을 태내에서 피폭한 1700명 어린이 중 1명이 방사선으로 인한 암사망의 위험이 된다(ICRP, 2000).

(187) 대개의 적절한 진단절차로 인한 태내선량을 태내사망, 기형 또는 정신발달 장애를 백그라운드를 넘어 측정 가능한 수준으로 증가시키지는 않는다. 표5.1에 엄선된 X선 절차에서의 전형적 태아선량을 보였다.

(188) 태아의 세포 수가 적고 특성화되지 않았을 때 세포의 손상 결과는 대개 착상 실패나 인지하지 못한 배아 사망으로 나타나기 쉽다. 기형은 일어나지 않거나 매우 희귀하다. 장기형성이 수태 후 3-5주에 시작하기 때문에 임신의 아주 초기에 방사선피폭은 기형을 일으킬 수 없을 것으로 본다. 주된 위험은 배아사망인데 배아사망이 일어나기 위해서는 태아선량이 100 mGy 이상 필요하다. 태아선량이 약 100 mGy를 넘으면 지능지수(IQ)의 감소를 초래할 수 있다. 임신 주수에 상관없이 100 mGy 미만의 태아선량에서 IQ 감소는 임상적으로 확인될 수 없다. 방사선의 건강영향 정도는 자연 백그라운드가 아닌 방사선피폭이 없을 때 인구집단에서 자발적으로 일어나는 이상과 대비하는 것이 중요하다(ICRP, 2000).

(189) 환자가 X선 검사 당시 임신사실을 알지 못하는 일이 종종 있는데 검사 후 임신을 알게 되면 당연히 매우 걱정하게 된다. 이러한 경우 의학물리사나 선량계 측에 경험이 있는 전문가가 배태아의 선량을 평가해야 한다. 그 다음에 환자는 잠재적 위험에 대해 조언을 받는 것이 낫다.

(190) 임신한 환자가 X선 진단을 필요로 할 때 정당화를 보장하기 위하여 그 지시를 평가해야 한다. 그 다음에 제3장에서 설명한 것처럼 좋은 기술을 엄격히 고수하여 절차를 최적화해야 한다.

표5.1. X선검사로 인한 태아의 전형적 흡수선량

검사	전형적 태아선량 (mGy)	참고문헌*
복부: AP방향	2.9	a
복부: PA방향	1.3	a
골반: AP방향	3.3	a
흉부	<0.01	b
요추(다양한 방향의 평균)	4.2	b
고관절	0.9	b
정맥신우조영술(영상 4장)	6	c
정맥요로조영술	1.7-4.8	d
소장검사	7	c
이중조영 바륨관장	7	c
바륨식	1.5	b
담낭조영술	3.9	b
복부 CT, 일반	4	c
복부골반 CT, 일반	25	c
복부골반 CT, 결석 프로토콜	10	c
내시경적 역행성 채담관조영술	3.5-56	e
골반계측법	0.1-1.0	f
형광투시 유도 둔부 외과치료	0.425	g
감시립프절 생검	<0.1	h
형광투시 유도 척추질환 외과치료(1차빔 바깥의 수태물)	4	i
형광투시 유도 척추질환 외과치료(1차빔 안의 수태물)	105	i
경목정맥 간내 문맥 간정맥 단락술	5.5	j

\* (a) UNSCEAR, 2010 (b) Osei와 Faulkner, 1999 (c) McCollough 등, 2007 (d) ICRP, 2000 (e) Samara 등, 2009 (f) Radiological Protection Institute of Ireland, 2010 (g) Damilakis 등, 2003 (h) Pandit-Taskar 등, 2006 (i) Theocharopoulos 등, 2006 (j) Savage 등, 2007.

## 5.2. 방사선 절차를 거치는 가임연령 환자에 대한 지침

(191) 가임연령의 여성 환자에 대해서는 방사선 노출 전에 임신했거나 임신했을 가능성이 있는지를 확인하기 위해 노력하고 평가해야 한다.

(192) 16세 미만 여성으로부터 이러한 정보를 얻기는 특히 어려울 수 있다. 이를 다루기 위해서, 또한 의식이 없는 환자나 특별한 요구가 있는 환자를 다루기 위해서 모든 임상 촬영 기관에는 합의된 절차가 준비되어 있어야 한다(Health Protection Agency, 2009). 나아가 청소년 여성도 임신했을 수 있다는 점을 잊어서는 안 된다. 따라서 이 태아가 관련될 수도 있는 이러한 그룹의 노출에는 주의가 필요하다. 이 그룹에 대해서는 해당 질문을 하는 환경 관점에서, 그리고 그들의 사생활을 존중하고 사실을 이야기할 가능성을 높이는 관점에서 조심성과 세심함이 필요하다. 임신검사의 많은 경우가 초기 임신임을 배제하지 못하여 잘못 안심하게 만들 수도 있다.

(193) 임신이 불가능하다는 정보(예: 자궁절제술 또는 난관결찰술)가 있는 경우가 아니라면, 월경이 늦거나 주기가 지난 시점에 X선 검사를 하려는 모든 가임연령의 여성은 임신한 것으로 간주하는 것이 신중한 접근이다. 나아가 가임연령의 모든 여성에게는 임신 중인지 또는 임신 중일 가능성이 있는지 질문해야 한다. 배태아의 의도적이지 않은 피폭 빈도를 최소화하기 위해서 X선장치가 사용되는 구역의 여러 곳에 안내문을 게시해야 한다.

(194) 많은 X선 절차에서는 태아선량이 50 mGy보다 충분히 낮기 때문에 임신검사를 일반적으로 시행하지는 않는다. 복부 또는 골반에 고선량 형광투시 절차(예: 색전술)를 고려할 때는 환자의 과거 기록과 신뢰도에 따라 임신검사를 의사가 요구할 수도 있다(ICRP, 2000).

(195) 만약 임신 가능성이 없다면 절차를 실시할 수 있다. 만약 환자가 분명하게 임신했거나 가능성이 높다면 예정된 절차에 대한 정당화를 검토해야 하고 이를 출산 후까지 연기할 수 없는지도 결정해야 한다. 이때, 어머니의 임상적 이익이 태어나지 않은 아이에게도 간접적 이익이 된다는 점과 필수적인 절차를 임신 후 일로 연기하는 것이 태아에게 더 큰 위험을 부여하지 않는지 하는 점도 유념해야 한다(Health Protection Agency, 2009).

(196) 환자가 임신했거나 가능성이 있는 것으로 판단된 때에는 절차를 실시하기 전에 제5.3절에 설명하는 바와 같은 여러 단계를 취해야 한다.

### 5.3. 임신 환자에 대한 지침

(197) 임신한 여성의 의료피폭은 대개의 의료피폭과는 다른 이익과 위험을 부여한다. 대개의 의료피폭은 이익과 위험이 동일 인물에 해당된다. 자궁 내 의료피폭 상황에서는 두 명의 다른 존재(어머니와 태아)가 고려되어야한다 (ICRP, 2000).

(198) 의료적 방사선이용은 이용 가능한 자원과 기술을 고려하여 필요 이상의 방사선을 사용하지 않고 임상적 목적을 달성하도록 최적화되어야 한다. 가능하다면 태아선량을 줄이기 위해서 임신환자에 대해 의료절차를 조정해야한다. 임신환자에게 높은 방사선량을 기여하는 의료절차 전후에 태아선량과 잠재적 태아 위험이 평가되어야 한다(ICRP, 2000).

(199) 100 mGy 이하의 태아선량에서는 낙태가 방사선위험 때문이라고 정당화될 수 없다. 더 높은 태아선량에서는 개인 환경에 따라 근거한 결정이 이루어져야 한다(ICRP, 2000).

### 5.4. 직무피폭과 임신

(200) 직장에서 임신 여성의 방호 방식은 일반인에게 제공되는 것과 대체로 유사한 배태아를 위한 방호수준으로 해야 한다는 것이 ICRP의 정책이다. ICRP는 임신한 종사자의 작업환경은 임신선언 후 남은 임신기간 동안 배태아의 추가 선량이 약 1 mSv를 초과하지 않을 것을 보장하는 환경이어야 한다고 권고한다. 임신선언 후 배태아에 대한 1 mSv 선량제한이 임신한 여성이 방사선과 관계된 일을 완전히 피해야 한다거나 지정된 방사선구역에 들어가서 일하는 것을 금지해야 함을 의미하는 것은 아니다. 그렇지만 낮은 선량한도는 고용주가 임신 여성의 피폭조건을 주의 깊게 검토해야한다는 것을 의미한다(ICRP, 2007a).

(201) 많은 상황에서 종사자가 같은 업무를 유지하기를 원하거나 한 업무단위가 일상적으로 제공하던 환자관리 수준을 유지하기 위해 고용주가 임신여성으로 하여금 하던 일을 계속하기를 바랄 수도 있다. 태아선량을 합리적으로 정확하게 평

가할 수 있고 그 선량이 임신선언 후 권고되는 한도인 태아선량 1 mGy 이하라면 방사선방호 관점에서 이는 충분히 수용가능하다. 높은 선량을 피폭하는 사고가 발생하기 어려움을 보장하기 위해 작업환경을 평가하는 것이 합리적이다(ICRP, 2000).

(202) 태아선량에 적용하도록 권고된 선량한도는 개인선량계로 측정된 선량과 직접 비교하기는 어렵다. 진단방사선 종사자가 패용하는 개인선량계는 대략 10 배 이상으로 태아선량을 과대평가할 수 있다. 만약 선량계를 납치마 바깥에 패용했다면 측정된 선량은 태아선량의 100배 이상이 되기 쉽다(ICRP, 2000).

(203) 마지막으로, 임신 여성의 활동을 평가할 때 방사선피폭 이외의 인자도 고려해야 한다. 의료 환경에서는 종종 환자를 들거나 무릎 아래까지 몸을 굽혀야 한다. 국가의 많은 단체가 임신의 여러 단계마다 그러한 활동과 관련하여 방사선 외적 지침을 수립해왔다(ICRP, 2000).

(204) 임신 중 방사선위험에 근거한 차별을 피해야한다는 것이 ICRP 입장이다. 만약 임신 여성이 계속 형광투시 유도 절차에 참여하기를 바란다면 다음의 조건부로 허가되어야 한다. (a) 여성은 자발적으로 업무에 종사하며 제공된 방사선위험 정보를 이해했다는 것을 확인해야한다; (b) 매 달 태아선량을 감시하기 위해 복부 높이에 특정 선량계를 패용해야 하며, 결과 선량은 종사자에게 통보해야 한다; (c) 병원 또는 의원에 방사선방호 프로그램이 있어야하며 의학 물리사 또는 동등한 역량의 전문가의 감독을 받아야 한다; (d) 종사자는 가용한 방호수단의 사용법을 포함하여 직무피폭 선량을 줄이기 위한 현실적 방법을 알아야한다; (e) 종사자는 임신 중 형광투시 유도 절차의 업무를 관리하기 위해 노력해야한다; 그리고 (f) 종사자는 잠재피폭의 위험과 그 확률을 줄이는 방법을 알아야한다. (d), (e), (f)는 방사선방호 프로그램의 일부가 되어야 하며 (d)는 임신여부에 관계없이 적용가능하다.

## 5.5. 아동에 대한 절차

(205) 아동에 대한 X선 절차는 다양한 질병조건을 다루는데 매우 어린 아동에게 고유한 질병조건이 있는가 하면 성인집단과 공통된 조건도 있다. UNSCEAR 평가(UNSCEAR, 2010)에서 도출된 자료를 보면 1997-2007년 기간에 매년 약 2억5천만 건의 소아과 방사선검사(치과 포함)가 세계적으로 행해지고 있다. 이러



한 검사를 받는 아동은 아동기 고유 질환과 아동에서 추가 위험 때문에 특별한 주의가 필요하다. 나아가 아동은 부모와 간병인에 의해 제공되는 보살핌과 특별히 훈련된 사람이 제공하는 추가적 보살핌 모두에서 특별한 보살핌이 필요하다.

(206) 지난 15년 동안 방사선 검사를 거치는 아동의 방호에 관한 특별이슈는 점차 많은 그룹의 전문가와 일반인의 관심사가 되었다(Sidhu 등, 2009; Strauss 등, 2010). 여기에는 많은 이유가 있는데 무엇보다 불필요한 위해로부터 아동을 보호하고자하는 자연적인 본능이 있다. 또한 방사선 상해에 대한 더 민감한 점, 방사선상해로 인한 질병이 발현할 수 있는 잠재적 기간이 더 긴 점도 이유가 된다. 아동의 암유발 민감도는 성인에 비해 3-5배일 것으로 본다(ICRP, 2007a).

(207) 아동, 특히 매우 어린나이에 생명을 위협하는 질병에 걸린 아동은 검사로 받는 상당한 방사선량의 결과로 높은 위험에 놓이게 된다. 이러한 아동에게는 결과적으로 골수 피폭으로 인해 백혈병, 흉부나 목 부위 피폭으로 유방암이나 갑상선암이 몇 년 안에 발생할 수 있다(ICRP, 2000).

(208) 그러므로 아동이 방사선에 노출될 때는 정당화 및 최적화 원칙이 더욱 중요하다(ICRP, 2007a). ICRP는 환자피폭의 정당화에 대한 다단계 접근을 ICRP 105(ICRP, 2007b)에서 권고했다. 아동 검사에서 방사선방호 최적화는 검사종류 그리고 관련된 모든 장비와 절차에 대해 포괄적이어야 한다. 또한 특정한 소아과 환자의 선량을 줄이기 위해서 그 개인에 맞춰야한다.

(209) 소아과 촬영에 사용되는 장비는 사용되는 목적에 맞게 잘 설계되는 것이 중요하다. 필요한 것에 대한 엄격한 사양과 공급자가 제공하는 것이 여기에 맞는 지 검증을 포함한 적절한 조달정책을 둠으로써 이를 보장할 수 있다. 나아가 장비가 그 수명을 통틀어 기능과 안전을 유지함을 보장하기 위한 품질관리 프로그램이 필요하고 선량의 최적화와 감사에 의학물리사의 참여가 요긴하다. 아동에게 수행되는 높은 선량 절차에서는 특히 그러하다.

### 5.5.1. 방사선량 수준

(210) 현재 미국에서 수행되는 전체 형광투시 절차의 약 15%와 중재방사선 절차의 1% 미만이 소아과 환자에게 행해지고 있다(NCRP, 2009). 영상의학과 밖에서 X선 절차를 거치는 아동의 환자선량 수준에 대해 발표된 정보는 부족하다. 그래서 영상의학과 밖에서 수행된 검사 뿐 아니라, 방사선 검사를 거치는 여러 연령군 환자에 대한 전형적 선량수준을 비교할 목적으로 표5.2에 보였다.<sup>27)</sup> 하

지만 새로운 영상기술의 도입은 몇몇 경우에는 소아과 촬영 빈도를 높였고 따라서 수행된 검사의 연령분포에 영향을 미치고 있다(UNSCEAR, 2010).

(211) 나이에 따라 아동의 키와 몸무게가 크게 달라지기 때문에 소아과 선량에 대한 자료는 분석하기 매우 어렵다. 게다가 소아과 신생아 촬영에서 환자선량을 정량화하는 데 유효선량을 사용하는 것이 적절하지 않다. 부록A에 더 설명한 것처럼 환자의 노출을 평가하고 위험/이익을 평가할 때에는 등가선량(또는 가급적이면 조사된 조직의 흡수선량)이 더 적합한 양이다. 위험평가를 의도할 때는 더욱 그렇다. 의료기관을 비교하기 위해 유럽연합에서는 표준화된 다섯 연령군(신생아, 1세, 5세, 10세, 15세)으로 자료를 수집하는 데 합의하였다(UNSCEAR, 2004).

(212) 전형적 진단수준(수 mGy에서 수십 mGy까지)에서 아동피폭의 주요 이슈는 암유발이다. 중재방사선 절차는 전통적 진단검사보다 환자에게 높은 선량을 유발한다는 사실은 강조되어야 한다. ICRP 85(ICRP, 2001)에서 이 주제를 광범위하게 다루었다 .

(213) 일반적 원리로서 부모나 가족이 방사선 검사 동안 아동을 보조해야 한다. 아동의 X선 검사 중 그 방에 있는 부모의 선량 수준은 전형적으로 4-7 $\mu$ Sv로 나타났다(Mantovani와 Giroletti, 2004).

## 5.5.2. 방사선량 관리

(214) 제3장에 설명한 모든 선량관리 조치는 아동의 X선 검사에도 적용된다. 검사 기술변수는 아동의 신체 크기에 맞춰 조정해야 한다. 아동에서 선량감축은 일반 성인용 인자가 아니라 아동에게 해당되는 기술인자를 사용함으로써 달성할 수 있다(Sidhu 등, 2009). 환자선량을 줄이는 기술은 성인 검사에서와 매우 유사하며 (a) 그리드 사용 지양 (b) 관심 체적에만 콜리메이션 (c) 빔 추가 여과(알루미늄 또는 구리 필터 부가) (d) 낮은 주파수 펄스형 형광투시 (e) 확대 지양 (f) X선관과 환자 사이의 거리 증가 및 환자와 검출기 사이 거리 단축 (g) 형광투시

---

27) <역주> 우리 식품의약품안전처도 의료피폭에 관한 연구를 진행하고 있다. 그 예로서 소아과 X선 선에 의한 환자선량에 대한 보고서로 “소아 방사선 촬영을 위한 기술정보”(방사선안전시리즈 No. 22, 2010.9, 식품의약품안전청)이 있다.

표5.2. 아동에 대한 다양한 방사선 검사로 인한 환자선량 수준(Martinez 등, 2007; Righi 등, 2008; Molina López 등, 2008; Calama Santiago 등, 2008; UNSCEAR, 2010).

검사	연령 (세)	입사표면선량 (mGy)	선량면적곱 (mGy $\cdot$ cm <sup>2</sup> )	유효선량 (mSv)
복부 PA	0	0.11	n.a.	0.10-1.3
	1	0.34	n.a.	
	5	0.59	n.a.	
	10	0.86	n.a.	
	15	2.0	n.a.	
흉부 AP/PA	0	0.06	n.a.	0.005
	1	0.080	n.a.	
	5	0.11	n.a.	
	10	0.070	n.a.	
	15	0.11	n.a.	
골반 AP	0	0.17	n.a.	n.a.
	1	0.35	n.a.	
	5	0.51	n.a.	
	10	0.65	n.a.	
	15	1.30	n.a.	
두개골 AP	1	0.60	n.a.	n.a.
	5	1.2	n.a.	
두개골 측방	1	0.34	n.a.	n.a.
	5	0.58	n.a.	
배뇨방광요도조영술(MCU)	0	n.a.	430	0.8-0.46
	1	n.a.	810	
	5	n.a.	940	
	10	n.a.	1640	
	15	n.a.	3410	
바륨식	0	n.a.	760	n.a.
	1	n.a.	1610	
	5	n.a.	1620	
	10	n.a.	3190	
	15	n.a.	5670	
심장중재술(다양)	<1	46	19	2.1-12
정삭정맥류 경피치료	n.a.	n.a.	n.a.	18
Bilioplasty 담즙연구	1-3	35-50	1500-2300	0.9-1.5
신우수노관 수술Pieloureteral surgery	5	20	n.a.	0.36(투시 분 당)
정삭정맥류 색전술	14	250	60,000	8.8

n.a., 자료 없음.

에 디지털 감산 혈관촬영 및 경로지도 기술road-mapping(조영제를 절약하여 환자 선량을 감축함) 등을 포함한다. 아동의 X선 절차에서는 관심영역만으로 방사선 빔을 최소화하도록 유념해야 한다. 따라서 아동에서는 차폐가 더욱 중요하다(소절3.3.2 참조). 선량을 줄이기 위해서 항상 관심장치에만 빔이 조사되도록 줄여야 한다. 자동밝기조절을 사용하는 장비에서는 빔 조절이 조사 범위 안의 선량을 약간 더 높이지만 유효선량은 줄이며 영상품질을 개선한다.

(215) 간병인과 보호자(검사 동안 아동을 잡고 있는 부모)의 피폭에 대해서는 불평등을 제한하고<sup>28)</sup> 선량한도 형태의 추가적 방호가 없기에, 선량 제약치를 적용할 수 있다(ICRP, 2007b). 부모에게는 검사에서 아동을 부축하기 전에 방호 필요성에 대해 알리고 적절한 방호도구를 제공해야 한다.

## 5.6. 참고문헌

Calama Santiago, J.A., Penedo Cobos, J.M., Molina Lo´pez, M.Y., et al., 2008. Paediatric varicocele embolization dosimetric study. Acta Urol. Esp. 32, 833-842.

Damilakis, J., Theocharopoulos, N., Perisinakis, K., et al., 2003. Conceptus radiation dose assessment from fluoroscopically assisted surgical treatment of hip fractures. Med. Phys. 30, 2594-2601.

Health Protection Agency, 2009. Protection of Pregnant Patients During Diagnostic Medical Exposures to Ionising Radiation; Advice from the Health Protection Agency, the Royal College of Radiologists and the College of Radiographers. HPA, Chilton, UK.

ICRP, 2000. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. Ann. ICRP 30(1).

ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2).

ICRP, 2007a. The 2007 Recommendations of the International Commission

---

28) <역주> 불평등의 제한이 선량제약치 기능의 하나이지만 여기서 이를 언급하는 것은 독자의 이해를 방해하는 것 같다. 현행 ICRP 권고에서는 편의상 보호자의 피폭도 일종의 의료피폭으로 간주하기 때문에 원론적으로 선량한도는 적용되지 않는다. 그러나 원론적으로 선량제약치도 선량한도가 적용되는 피폭에 대해 적용하는 데 보호자에 대해서는 선량한도는 적용하지 않되 선량 제약치는 적용한다는 불일치가 있다. 관리개념을 보다 평이하게 구성하기 위해서는 보호자(위안자나 간병인 포함)의 피폭을 의료피폭으로 분류하기보다는 따로 ‘자원자피폭’ 같은 범주를 두는 방안도 고려할 필요가 있다.

- on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
- ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(6).
- Mantovani, A., Giroletti, E., 2004. Evaluation of the dose to paediatric patients undergoing micturating cystourethrography examination and optimization of the examination. *Radiol. Med.* 108, 283-291.
- Martinez, L.C., Van˜o´ , E., Gutierrez, F., et al., 2007. Patient doses from fluoroscopically guided cardiac procedures in paediatrics. *Phys. Med. Biol.* 21, 4749-4759.
- McCullough, C.H., Schueler, B.A., Atwell, T.D., et al., 2007. Radiation exposure and pregnancy: when should we be concerned? *RadioGraphics* 27, 909-918.
- Molina Lopez, M.Y., Calama Santiago, J.A., Penedo Cobos, J.M., et al., 2008. Evaluation of radiological risk associated to pielouretal surgery in paediatric patients. *Cir. Pediatr.* 21, 143-148.
- NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 160. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- Osei, E.K., Faulkner, K., 1999. Fetal doses from radiological examinations. *Br. J. Radiol.* 72, 773-780.
- Pandit-Taskar, N., Dauer, L.T., Montgomery, L., et al., 2006. Organ and fetal absorbed dose estimates from <sup>99m</sup>Tc-sulfur colloid lymphoscintigraphy and sentinel node localization in breast cancer patients. *J. Nucl. Med.* 47, 1202-1208.
- Righi, D., Doriguzzi, A., Rampado, O., et al., 2008. Interventional procedures for biliary drainage with bilioplasty in paediatric patients: dosimetric aspects. *Radiol. Med.* 113, 429-438.
- Radiological Protection Institute of Ireland, 2010. Guidelines on the Protection of the Unborn Child During Diagnostic Medical Exposures. Radiological Protection Institute of Ireland.
- Samara, E.T., Stratakis, J., Enele Melono, J.M., et al., 2009. Therapeutic ERCP and pregnancy: is the radiation risk for the conceptus trivial? *Gastrointest. Endosc.* 69, 824-831.
- Savage, C., Patel, J., Lepe, M.R., et al., 2007. Transjugular intrahepatic portosystemic shunt creation for recurrent gastrointestinal bleeding during pregnancy. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 18, 902-904.
- Sidhu, M.K., Goske, M.J., Coley, B.J., et al., 2009. Image gently, step

lightly: increasing radiation dose awareness in pediatric interventions through an international social marketing campaign. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 20, 1115–1119.

Strauss, K.J., Goske, M.J., Kaste, S.C., et al., 2010. Image gently: ten steps you can take to optimize image quality and lower CT dose for pediatric patients. *AJR Am. J. Roentgenol.* 194, 868–873.

Theocharopoulos, N., Damilakis, J., Perisinakis, K., et al., 2006. Fluoroscopically assisted surgical treatments of spinal disorders: conceptus radiation doses and risks. *Spine* 31, 239–244.

UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report. United Nations, New York.

## 제6장 훈련

- 보건전문인을 위한 방사선방호 훈련 프로그램은 훈련대상이 관여하는 종류의 절차에 초점이 맞아야 한다.
- 특정 기능을 수행하는 종사자의 역량은 그러한 역량이 있는 사람에 의해 평가되어야 한다.
- 교육의 주된 목적은 시술자가 작업의 방해 없이 자신의 피폭을 줄이고 영상 품질이나 의도한 임상 목적을 손상하지 않으면서 환자피폭을 줄이기 위해 방사선방호 원칙, 도구 및 기술을 사용할 수 있도록 관행의 정성적 변화를 도모하는 것이다. 초점은 숙달하는 것이다. 불행히도 많은 상황에서 교육 시간수 요건만 충족하는 형편이 되어 있다. 교육훈련에서 시간수도 중요한 한 척도이긴 하지만, 직무피폭과 환자피폭을 줄이는 실질적 숙련을 내보이는 것이 핵심이다. 세계 대부분 국가에서, 영상의학과 밖에서 형광투시에 임하는 임상 전문인이 훈련을 전혀 받지 않았거나 불충분한 훈련을 받았다. ICRP는 교육훈련 수준이 사용하는 방사선 수준에 상응해야 한다고 권고한다.
- 대부분 국가의 법규는 의료피폭에 책임이 있는 사람은 방사선방호에 대해 적합한 훈련을 받을 것을 요구하고 있다.
- 방사선방호에 대한 훈련에는 훈련 프로그램에서 얻은 지식에 대한 평가(예: 공식 시험체계)가 따라야 한다.
- 훈련과정을 이수한 의사는 적절한 입증 시험에 합격함으로써 교과에 명시된 지식을 습득했음을 내보여야 한다.
- 간호사나 기타 형광투시를 보조하는 보건전문인은 자신과 다른 사람의 피폭을 줄이기 위해 방사선 위험과 방호원칙에 대해 잘 알아야 한다.
- 의학물리학자는 병원현장에서 수행되는 구체적 절차에 대해 임상 특성에 정통해야 한다.
- 교육 프로그램은 신입 직원을 위한 초기 교육과 정기적인 업데이트와 재교육 포함해야 한다.
- 과학 학술대회는 방사선방호에 관한 연수 프로그램을 포함하고 이에 참석은 계속전문교육의 요건이 되어야 한다.
- 교육 문제에 대해서는 ICRP 113에서 다루었고 이 보고서의 내용은 주고 거기서 인용한 것이다.

## 6.1. 서론

(216) ICRP는 ICRP 75(ICRP, 1997)에서 방사선방호에 관련해 상당하고 적절한 정보와 훈련 대책을 요구하고 있다. 이는 정규피폭과 잠재피폭의 관리에서 방호 최적화 원칙을 이행하는 프로그램의 기본요소로 간주되어야 한다.

(217) 임상 관행에서 방사선 사용빈도가 높고 일상화되어 있음에도 불구하고 세계적으로 의사는 방사선방호에 대한 훈련이 없거나 부족하다. 전통적으로 의과대학생은 대학 과정에서 방사선방호에 대한 훈련을 받지 않는다. 영상의학, 핵의학, 치료방사선처럼 나중에 전문화되는 의료인은 전문화 과정의 일부로 방사선물리나 방사선방호를 배운다. 많은 국가에서 이 간행물의 목표가 되는 기타 전문인의 훈련과정에는 방사선방호 교육이 없다.

(218) 과거에는 X선이나 기타 방사선원이 방사선과에서만 사용되었으므로 방사선전문의가 아니면 방사선 물리나 방사선방호 훈련은 필요하지 않았다. X선 투시 진단은 한 세기 이상 사용되어 왔지만 기존의 이용은 주로 인체 해부의 시각화, 조직 구조의 움직임, 조영물의 체내 이동에 관한 것이었고 일반적으로 방사선과 의사가 이를 수행했다. 형광투시 유도 절차가 도입되자 다른 전공 의사가 이 절차를 사용하기 시작했다. 초기에는 방사선과 의사와 협조하여 사용하였다. 세월이 지나면서 다른 임상 학과나 외래 시설에 투시장비가 설치되었고 방사선과 의사 참여 없이 사용되었다. 이러한 다른 전공자에게는 방사선 전문의가 필수적으로 받는 방사선 물리와 방사선방호에 대한 훈련이 필수적이지 않다. 이러한 훈련이 필수임은 이제 분명하고 그래서 그러한 전문의를 위한 구체적 지침이 필요하다.

(219) 다른 분야도 포함하지만 중재방사선 의사, 핵의학 전문가, 의학 물리사, 간호사, 방사선사를 위한 훈련의 구체적 사항을 ICRP 113(ICRP, 2009)에서 발표했다.

## 6.2. 교육과정

(220) 전통적 훈련 프로그램은 교육과정에 기반을 둔 구조이다. 의료종사자와 비의료 종사자의 훈련 방법은 근본적으로 다르다. 물리학이나 생물학 같은 과학에서 훈련은 대부분 지식전수에 기반을 두지만 임상 훈련은 일상의 문제를 해결하



기 위한 기법을 부여하는 데 훨씬 큰 비중을 두고 있다. 보건전문인을 위한 방사선방호 훈련 프로그램은 훈련 대상자가 포함되는 종류의 절차를 거둬야 한다. 강의를 필수적인 배경지식과 실제 상황에 대한 조언을 다루고, 발표는 적절한 맥락에서 기법을 부여하도록 임상 상황에 맞춰야 한다. 실습환경은 참가자가 이후 다루게 될 상황과 유사한 환경에서 실시하고 임상 절차를 수행함에 필요한 지식과 기법을 제공해야 한다. 훈련은 참여자가 당면할 수 있는 이슈의 전체 범위를 다뤄야 한다. 자세한 사항은 ICRP 113(ICRP, 2009)을 참고하길 바란다.

### 6.3. 누가 가르쳐야 하는가?

(221) 방사선방호 주 훈련사범은 일반적으로 그들이 다루는 절차의 방사선방호 전문가(보통 의학물리사)가 된다. 달리 말해서, 방사선을 사용하는 임상 절차, 방사선의 본질, 방사선 측정 방법, 방사선이 조직과 반응 방식과 그로 인한 영향, 방사선방호 원리와 철학, 국제 및 국가 지침에 대한 지식을 갖춘 사람이다. 세계 대부분 국가가 법률로 방사선방호를 다루고 있기 때문에 국가 법규와 개인이나 조직의 책임에 유념하는 것은 필수적이다.

(222) 많은 상황에서, 방사선방호 훈련사범이 현장 지식이 부족하고 이상적이거나 해당되지 않는 상황에 대해 비현실적 입장에서 말하고 있다. 성공적 훈련 프로그램에서의 핵심은 훈련사범이 해당 업무의 실재를 명확히 이해하는 것이다. 훈련은 사람들이 일상 업무에서 접할 문제를 다뤄야 한다. 많은 방사선방호 훈련사범이 청중이나 훈련목적이 필요로 하는 것 이상으로 방사선 단위, 방사선과 물질의 상호작용, 심지어 원자의 구조와 원자 방사선과 같은 기본주제를 다루고자 하는 유혹을 떨치지 못한다. 그런 기본주제는 교육 프로그램에서는 필수적이지만 훈련에서는 상식적 수준까지만 다뤄야 한다. 성공적 훈련사범은 순수 학술적 목적인 정의에 과도하게 집중하지 않고 청중에게 그 정보의 용도를 인도해 준다. 법규 요건에 대해서도 마찬가지이다. 훈련사범은 과학이나 규제요건을 실추시키지 않고 필요한 정보를 전달하기 위해 사용자 언어로 말해야 한다. 병원에서 매일 방사선을 사용하고 환자에게 방사선량을 부여하는 보건전문인은 매우 위중한 환자를 다룰 때 현실적 문제에 대한 지식도 있어야 한다. 이들 의료인은 자신이 다루는 방사선 기기의 문제, 다수 환자를 다룸에 따른 시간제약, 방사선측정기나 방호용구의 부족 등을 알아야 한다. 방사선방호의 나쁜 관행과 모범관행에 대해 숙고하기 위해 현역 임상의를 강의에 포함할 것을 강력히 추천한다. 방사선방호

훈련사범은 강의 중에 제기된 이슈를 논의하고 조언할 준비가 되어 있는 것이 좋다(ICRP, 2009).

## 6.4. 얼마나 훈련해야 하는가?

(223) 대부분 사람이나 조직이 시수를 처방함에 비교적 쉬운 길을 택한다. ICRP가 교육훈련 시수에 대한 약간의 권고(ICRP, 2009)를 했지만 이는 엄격히 적용한다기보다는 단순한 지침으로 보아야 한다. 이것이 훈련을 이행하고 훈련활동을 모니터링하는 측면에서 장점은 있지만 지침의 하나일 뿐이다.

(224) 얼마나 훈련을 받아야 하는지 문제는 평가 방법론과 연계되어야 한다. 우선 훈련의 교육 목적(즉, 지식과 기술 습득)에 대해 유념해야 한다. 많은 프로그램이 교육 목적의 성취평가 없이 훈련을 제공하는 것에만 한정되어 있다. 일부 프로그램이 습득한 지식의 평가를 위한 훈련 전후 평가가 있지만, 실용적인 기술 습득을 평가하는 경우는 더욱 적다. 현대적인 온라인 시험 방법을 사용하면 결과를 즉각적으로 확인할 수 있다. 온라인 평가에 대한 현대 기법을 사용하면 바로 결과를 얻을 수 있다. 훈련 시수를 지정하는 것보다 지식과 기술을 평가하는 설문이나 시험체계 개발을 권장하는 것이 적합할 수 있다. 방사선방호 훈련 요건의 수준 때문에 기관이 그러한 온라인 평가체계를 개발하는 것이 바람직하다. 대개 대규모 시험을 실시하는 기관에는 그러한 온라인 방법이 현재 가용함을 ICRP는 알고 있다. 훈련생이 집에서 가정용 컴퓨터로 또는 인터넷이 가용한 어디에서나 사용할 수 있도록 자체평가 시험체계를 개발하는 것도 바람직하다. ICRP는 평가가 중요한 위치에 있기를 권고한다(ICRP, 2009).

(225) 교육 시간은 업무에 따른 방사선 수준에 따라 그리고 환자나 종사자가 과다 노출이 발생할 확률에 따라 달라져야 한다. 예를 들면 방사선치료는 환자 당 수 Gy 선량을 전달하며 매일 그룹의 환자에게 수십 Gy를 전달한다. 중재방사선 절차도 특정 환자에게 수 Gy의 피부선량을 전달할 수 있다. 투과촬영 절차에서 사용하는 방사선 수준은 위 두 예보다는 훨씬 낮고 유의한 과다피폭 확률도 낮지만 영똥한 환자나 영똥한 부위를 촬영할 수는 있다. CT 검사로부터 환자선량도 상대적으로 높으므로 방사선방호 요구가 그만큼 높다. 또 고려할 인자는 동일 환자에게 CT 같은 절차가 반복되는 횟수이다.

(226) 많은 나라에서 혈관 수술이나 비뇨기학, 내시경학, 정형외과 수술과 같은

다른 의료전문인들이 침습적인 형광투시 유도 기술을 실시하기 전에 제공하는 훈련은 적거나 아예 없다. 일과 관련하여 좁은 범위의 핵의학 시험을 수행하는 의사에게도 방사선방호 훈련을 권고한다.

## 6.5. 훈련에 대한 권고

(227) 보건전문인에 대한 방사선방호 훈련은 구체적 업무와 역할과 연계되어야 한다.

(228) 환자에게 피폭을 주는 절차에 관여하는 의사와 보건전문인은 반드시 물리와 생물에 관한 기초를 포함하여 방사선방호 원칙에 대해 훈련을 받아야 한다 (ICRP, 2007a).

(229) 방사선 노출의 최종 책임은 노출의 정당화를 판단하는 의사에게 있다. 그러므로 의사는 관련 절차가 내포하는 이익과 위험에 대해 알고 있어야 한다 (ICRP, 2007b).

(230) 각 범주의 의사에게 적합한 교육훈련은 의과대학 과정, 전공의 과정 그리고 집중 특별과정을 통해 이루어져야 한다. 훈련에는 평가가 따라야 하고 개개인이 훈련을 성공적으로 마쳤다는 적절한 인정도 필요하다. 또한, 방사선을 사용하는 절차의 실시에 참여하거나 방사선 진료절차를 거치는 환자를 돌보는 기타 임상 전문인에게도 상응하는 방사선방호 훈련요건이 있어야 한다(ICRP, 2007b).

(231) 과학 또는 전문 학회는 교육훈련을 진흥, 지원하기 위해 교과를 개발하는데 일조해야 한다. 학회 회의에는 방사선방호 재훈련 과정을 포함해야 하며 이에 출석을 방사선을 사용하는 전문인을 위한 전문성 지속개발을 위한 요건으로 할 수도 있다.

(232) 보다 직접적으로 방사선을 사용하는 전문인은 업무를 개시할 때부터 방사선방호 교육훈련을 받아야한다. 해당 기술의 집단지식은 발전하므로 교육과정은 직업종사기간 내내 지속적으로 이루어져야 한다. 병원에 새로운 장비나 기술이 도입되면 관련된 방사선방호 측면에 대한 특별 훈련도 훈련에 포함해야 한다.

(233) 형광투시 절차를 돕는 간호사나 기타 보건전문인도 자신이나 다른 사람의

피폭을 최소화하기 위해 방사선 위험과 방호 원칙에 대해 익숙해야 한다.

(234) 의학 물리사는 병원 현장에서 수행되는 구체적 절차의 임상적 속성에 익숙해야 한다.

(235) 훈련 프로그램은 신입직원을 위한 초기훈련과 정기적 재훈련을 포함해야 한다.

## **6.6. 참고문헌**

ICRP, 1997. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75. Ann ICRP 77(1).

ICRP, 2007a. The 2007 Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 27(2-4).

ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(6).

ICRP, 2009. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP Publication 113. Ann. ICRP 39(5).

## 제7장 권고

- 영상의학과 밖의 시설에서 방사선방호가 간과되고 있음은 바로잡을 필요가 있다.
- 많은 나라에서 영상의학과 밖의 형광투시 시설에서 종사자나 환자의 방사선 위험이 높는데 이는 주로 방사선방호 훈련의 결여 때문이다.
- 동맥류 교정술(EVAR), 신장혈관성형술, 장골혈관성형술, 수노관 도관설치, 치료적 ECRP, 담도 도관이나 배관 설치를 포함한 많은 절차가 피부상해 문턱 선량을 넘는 방사선 수준에 해당된다. 합당한 주의를 기울이지 않으면 앞으로 환자의 방사선 상해가 일어날 가능성이 높다.
- 많은 환자가 다년간 정기적으로 반복된 방사선절차를 필요로 하며 소수는 평생 그러하다. 때로는 추적절차로 인한 유효선량이 매년 수십 mSv로 평가되는데도 그만큼 주목을 받고 있지 못하다. 요구되는 임상적 결과에 상응하는 수준으로 피폭을 최소화하기 위해 정당화와 방호 최적화에 당장 주의를 기울이기를 ICRP는 권고한다.
- 종사자는 환자선량을 대표하기 위해 형광 투시장비에서 사용되는 방사선량을 파악해야 한다.
- 현대의 정교한 기기는 환자선량에 영향을 미치는 특성과 환자선량을 관리하는 방법에 대한 이해를 요구한다.
- 수술실의 형광 투시장비는 종사자 방호를 위한 차폐스크린 사용을 어렵게 만드는 고유한 문제는 있다. 그러나 차폐가 불가능하지는 않으므로 그러한 종사자 방호수단의 사용하도록 노력해야 한다.
- 제작사는 수술실에서 투시장비를 사용하는 종사자 방호를 위해 임상업무를 방해하지 않는 차폐스크린을 개발해야 한다.
- 제작사는 환자선량 지표를 나타내고 가능하면 환자선량 보고서를 만들어 병원 네트워크를 통해 전송할 수 있는 시스템을 개발해야 한다.
- 직원의 광범한 협조 없이도 대표적 종사자 선량을 제시할 수 있는 장치를 개발하기를 제작사에게 촉구한다.
- 환자에게 피폭을 부여하는 절차에 관계하는 보건전문인은 반드시 방사선방호 훈련을 받아야 한다. ICRP는 방사선방호 훈련의 수준이 방사선사용과 상응하기를 권고한다.
- 의료전문인은 법규가 정한 자신의 책무에 유념해야 한다.
- 과학 또는 전문 학회는 교육훈련을 진흥, 지원하기 위해 교과를 개발하는 데

일조해야 한다. 학회 회의에는 방사선방호 재훈련 과정을 포함해야 하며 이에 출석을 방사선을 사용하는 전문인을 위한 전문성 지속개발을 위한 요건으로 할 수도 있다.

## 부록 A

### 선량과 단위

(A1) 선량계측량은 사람의 방사선피폭을 정량적 방법으로 평가하기 위해 필요하다. 선량계측량은 전리방사선의 보건영향에 대해 선량-반응관계를 설명하는 데도 필요한데 이 관계는 피폭수준의 정량화 뿐만 아니라 방호표준을 설정하는 근거를 제공한다.

(A2) 조직의 흡수선량은 신체 조직 단위질량 당 흡수된 에너지이다. 흡수선량의 단위는 킬로그램 당 줄(J/kg)이며 그 특별명칭은 그레이(Gy)이다. 장기 또는 조직의 흡수선량의 평균값은 낮은 선량 영역에서 확률론적 영향의 방사선 영향으로 인한 위해와 상관된다고 가정한다. 신체 조직이나 장기의 흡수선량을 평균하고 가중한 유도량이 방호량을 정의하는 기반이 된다.

(A3) 방호량은 확률론적 영향의 발생이 용인하지 못할 수준보다 아래로 유지되고 조직반응은 예방되도록 위험을 평가하고 관리하는 데 사용된다. 하나의 장기나 조직의 평균 흡수선량을 장기흡수선량organ absorbed dose 또는 간단히 장기선량organ dose이라고 부른다.

(A4) 장기나 피부에 대한 등가선량은 장기선량에 방사선에 대한 노출에 따른 상대적 생물학적 영향을 고려한 방사선가중치를 곱한 것이다. 방사선가중치는 X선에 대해 값 1을 갖는다. 등가선량은 흡수선량과 같은 SI 단위를 갖지만, 구별하기 위해 '시버트(Sv)'라 부른다.

(A5) 의료피폭에서 방사선이 둘 이상의 장기가 피폭하므로 확률론적 위험의 평가는 복잡하다. ICRP는 관련된 모든 장기와 조직에 대한 등가선량의 가중평균으로서 '유효선량'을 도입하고 있다. 유효선량은 여러 조직에서 상이한 선량의 총합을 확률론적 영향의 합과 잘 연계할 것으로 보는 방식으로 표현하려는 것이다. 그래서 유효선량은 전신의 흡수선량 분포가 균일하지 않더라도 적용 가능하다. 유효선량은 등가선량과 같은 단위(J/kg 및 Sv)를 가진다.

(A6) 특정 조직의 흡수선량이 물리적 양인 반면에, 등가선량과 유효선량은 방사선 생물학과 역학에 근거한 가중치를 내포하고 있다. 유효선량의 주된 용도는

직무피폭과 일반인피폭의 선량한도 준수를 입증하는 수단을 제공하는 것이다. 이런 의미에서 유효선량은 세계적으로 규제목적으로 사용된다. 유효선량은 (암과 유전질환과 같은) 확률론적 영향의 발현을 제한하기 위해 사용되며 조직반응의 가능성을 평가하는 데는 사용되지 않는다.

(A7) 환자피폭 평가에 유효선량의 사용에는 심한 제한이 있으므로 의료전문인은 이를 고려하여야 한다. 유효선량은 서로 다른 진단 절차(치료절차의 경우는 소수 특별한 경우에만)로부터 받는 선량을 비교하거나, 다른 병원이나 국가에서 유사한 기술이나 절차의 사용을 비교할 때 또는 같은 의학적 검사에 다른 기술을 사용을 비교할 때에는 가치가 있다. 그러나 환자의 노출을 계획하거나 위험-편익 평가에서는 등가선량, 바람직하기로는 노출된 조직의 흡수선량이 더 적합한 양이다. 위험평가에서는 특히 그러하다(ICRP 2007).

(A8) 집단선량은 특정 인구집단이 받는 유효선량의 총합이며<sup>29)</sup> 통상 인-Sv로 표현된다.

## A.1. 환자선량 평가를 위한 양

(A9) 공기커마(kerma(kinetic energy released in a mass))는 공기 단위질량 당 X선 광자가 만드는 전자의 초기 운동에너지 합이다. 경계면 근처 공기처럼 2차전자의 평형이 이루어지지 않는 경우를 제외하면, X선 절차에 사용되는 광자에너지에서는 공기커마는 자유공기 중 흡수선량과 수치적으로 같다. 공기커마의 단위는 J/kg 또는 Gy이다(ICRU 2005; IAEA, 2007)

(A10) 이전의 여러 간행물은 측정을 공기 흡수선량으로 표현하고 있다. 최근 간행물은 특히 경계면 근처에서 공기에 대한 흡수선량을 결정하는 데 실험적 어려움을 지적하고 있다. 실제로 선량계측 기기가 지시하는 양은 공기가 흡수한 방사선 에너지가 아니라 방사선이 전리에서 생성된 하전입자에 전달한 에너지이다. 이런 이유로 ICRU(2005)는 공기 흡수선량보다 공기커마 사용을 권고했는데 이

---

29) <역주> 원문 표현이 혼란스러워 수정했다. 집단선량은 어떤 행위에 관련된 특정 집단의 개인 유효선량의 합이다. 집단선량을 평가하는 대상 집단은 평가 목적 관점에서 공통점이 있는 집단에 한정하는 것이 적절하다. 예를 들어 형광투시기를 도입하여 사용함에 따르는 집단선량을 환자 집단과 종사자 집단 각각에 대해 평가하는 것은 의미가 있으나 환자와 종사자 또는 시설주변 일반인까지 묶어 평가하는 집단선량은 의미가 없다. 특정 목적이 있다면 환자집단도 검사하는 질환의 종류에 따라 세분하여 집단선량을 평가할 수도 있다.



는 입사면공기커마(입사면 공기선량이 아닌)나 커마면적곱(DAP가 아닌)에서처럼 공기 중에서 결정되는 양에 적용된다. 이 주의에도 불구하고, 이 보고서에서도 공기 중의 'DAP'이나 '입사면 선량'이 몇 곳에서 사용되고 있는데 이는 독자와 친숙하고 여러 참고자료를 기반으로 서술하였다.

(A11) 영상의학에서는 입사공기커마( $K_i$ )를 종종 사용한다. 이는 X빔 중심축 위 초점-피부거리(즉, 입사면에서)에서 입사빔에 의한 공기커마이다. 입사공기커마는 X선관 출력으로부터 산출될 수 있는데 출력은 교정된 전리함을 사용하여 측정한다(ICRU, 2005).

(A12) 입사면 공기커마( $K_e$ )는 X선빔 중심축 위 X선빔이 환자로 들어가는 곳에서 공기커마이다. 후방산란 방사선의 기여는 후방산란인자( $B$ )를 통해 포함되므로  $K_e = BK_i$ 로 된다. 후방산란인자는 X선 스펙트럼, X선장 크기, 환자나 모의체의 조성과 두께에 의존한다. 중재방사선이나 영상의학 방사선에서 후방산란인자의 전형적 값은 1.2-1.6 범위에 있다(ICRU, 2005). 입사면 공기커마의 단위는 Gy이다. 입사면 공기커마는 적절한 후방산란인자를 이용해 입사공기커마로부터 산출하거나 환자 피부 위 대표적인 위치에 놓은 작은 선량계(TL선량계 또는 반도체선량계)를 사용하여 직접 측정할 수 있다.

(A13) 입사공기커마와 입사면 공기커마는 투영 영상의학에서 진단참조준위 수립이나 중재절차에서 최대 피부선량을 평가하는 데 추천된 양이다(ICRU, 2005).

(A14) 입사공기커마와 입사면 공기커마는 X선빔의 크기에 대한 정보를 제공하지 않는다. 빔축에 대해 수직인 평면에서 X선의 면적  $A$ 와 공기커마의 곱인 공기커마 면적곱( $P_{KA}$ )이 그러한 정보를 제공한다.

(A15) 공기커마 면적곱은  $\text{Gy cm}^2$  단위를 가진다.  $P_{KA}$ 는 X선관 초점으로부터 거리에 대해 거의 불변인 유용한 성질을 가진다.  $P_{KA}$ 는 특별하게 설계된 투명 전리함을 콜리메이터 시스템에 설치하여 X선원과 환자 사이의 아무 위치에서나 측정할 수 있다. 디지털 시스템에서는 발생장치 데이터와 디지털로 기록된 텍 위치의 데이터를 사용하여 계산된다(ICRP, 2001). 공기커마 면적곱은 전통적 투과촬영이나 형광투시를 포함한 복잡한 절차에 대한 진단참조준위 수립에 권고된 양이다.  $P_{KA}$ 는 시술자와 환자의 확률론적 영향에 대한 선량관리에 유용하다(ICRP, 2001).

(A16) 방사선의학에서, 선량계측량을 측정하고 환산계수를 사용해 장기선량이나 유효선량으로 변환하는 것이 보통의 관행이다. 환산계수는 특정 조직선량이나 유효선량을 정량화된 양으로 나눈 비 값으로 정의된다. 입사공기커마, 입사면 공기커마, 그리고 공기커마 면적곱이 정량화된 양으로 사용될 수 있다. 선발된 절차에 대해 공기커마 면적곱 또는 입사면 커마를 유효선량으로 환산하기 위한 환산계수를 표A.1에 주었다.

## A.2. 종사자 선량 평가를 위한 양

(A17) 직무피폭에 대한 선량한도는 조직반응에 대해서는 특정 조직의 등가선량, 전신에 걸친 확률론적 영향에 대해서는 유효선량으로 표현된다. 조직반응에 사용될 때, 등가선량은 조직반응의 문턱에 도달했는지를 나타내는 지표가 된다.

(A18) 종사자 선량한도는 확률론적 영향(유효선량 한도)과 조직반응(해당 조직에 대한 등가선량 한도)로 ICRP가 권고한다(ICRP, 1991, 2007). 표2.1에 보인 것처럼 선량한도는 mSv로 주어진다. 진단과 중재방사선 절차에서 사용되는 X선 에너지에서는 본질적으로 mGy로 나타낸 흡수선량의 값은 mSv로 나타낸 등가선량과 수치로 동일하다.

(A19) 종사자에게 주요 방사선원은 형광투시나 방사선촬영에서 모든 방향으로 산란방사선을 내는 환자 신체이다. 개인 선량계는 반드시 패용해야 한다. 개인선량계로 측정된 심부선량<sup>30)</sup>은 유효선량을 대체할 수 있다. 피부, 손, 발 그리고 수정체에 대한 선량을 감시하기 위해서는 반지선량계와 같은 특별한 선량계를 사용해야 한다(ICRP, 2001). 선량 측정에 사용되는 측정기기는 통상 등가선량과 유효선량의 현실적 측정과 평가를 위해 정의된 실용량으로 교정된다(ICRU, 1993).

---

30) <역주> 현행 개인선량계는 실용량인 심부선량(당량) Hp(10)과 표층선량당량 Hp(0.07)을 측정하도록 설계되어 있다. 유효선량의 대체로 보는 것은 심부선량당량이다. 표층선량당량은 피부나 수정체의 등가선량의 지표가 된다.

표A.1. X선 절차에서 공기커마면적곱과 입사면커마를 성인 유효선량으로 변환하기 위한 환산계수  
(European Commission, 2008; NCRP, 2009; Health Protection Agency 2010)

그룹	검사	환산계수 mSv/Gycm <sup>2</sup> (NCRP, 2009)	환산계수 mSv/Gycm <sup>2</sup> (EC, 2008)	환산계수 mSv/Gycm <sup>2</sup> (HPA, 2010)	환산계수 mSv/mGy (HPA, 2010)
비뇨기 및 신장 연구	방광조영법	0.18			
	요로 조영술, 방광 요도 조영술	0.18			
	선행성신우조영술	0.18			
	신루조영술	0.18			
	역행성신우조영술	0.18			
	경정맥 요로 조영검사		0.18		
	역행성 채담관 조영술	0.26			
정형외과와 고관절	정형외과와 고관절	0.01			
	넙다리뼈 AP			0.036	0.023
	넙다리뼈 LAT			0.0034	0.002
	무릎 AP			0.0034	0.001
	무릎 LAT			0.003	0.001
	발 (dorsiplantar)			0.0032	0.001
	발 (경사)			0.0032	0.001
	산부인과	골반계측법	0.29		
	자궁난관조영술	0.29			
신장	역행성신우조영술	0.18			
	신루조영술	0.18			
바륨식			0.2		
바륨관장			0.28		

표A.1(계속)

그룹	조사	환산계수 mSv/Gycm <sup>2</sup> (NCRP, 2009)	환산계수 mSv/Gycm <sup>2</sup> (EC, 2008)	환산계수 mSv/Gycm <sup>2</sup> (HPA, 2010)	환산계수 mSv/mGy (HPA, 2010)
바륨 추적			0.22		
심장혈관조영술			0.2		
혈관성형술		0.26			
스텐트	신장/내장 스텐츠를 통한 혈관성형술 장골 스텐츠를 통한 혈관성형술; 쓸개관, 팽창과 스텐팅	0.26			
방사선 촬영	흉부 (PA+LAT) 저선량		0.10		
	흉부 (PA+LAT) 고선량		0.18	0.158/0.125	0.131/0.090
	흉추		0.19	0.244/0.093	0.094/0.031
	요추		0.21	0.224/0.092	0.116/0.027
	복부		0.26	0.180	0.132
	골반		0.29	0.139	0.099
	엉덩이		0.29	0.13	0.064
골격조사	두개골, 팔, 다리 LAT, 요추 LAT, 흉부 AP 복부/골반 AP의 평균		0.09		
전체 척추/ 척추 측만증	가슴과 요추 AP의 평균 목, 가슴, 요추(AP+LAT) 평균			0.22	
				0.16	

AP, 전방-후방; PA, 후방-전방; LAT, 측방

### A.3. 참고문헌

- European Commission, 2008. European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Radiation Protection 154. European Commission, Luxembourg.
- Health Protection Agency, 2010. Frequency and Collective Dose for Medical and Dental X-ray Examinations in the UK, 2008. HPA-CRCE-012. Health Protection Agency, Chilton.
- IAEA, 2007. Dosimetry in Diagnostic Radiology: an International Code of Practice. IAEA Technical Report Series 457. IAEA, Vienna.
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2).
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
- ICRU, 1993. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry. ICRU Report 51. ICRU Bethesda, MD.
- ICRU, 2005. Patient Dosimetry for X-rays Used for Medical Imaging. ICRU Report 74. ICRU Bethesda, MD.
- NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 160. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.