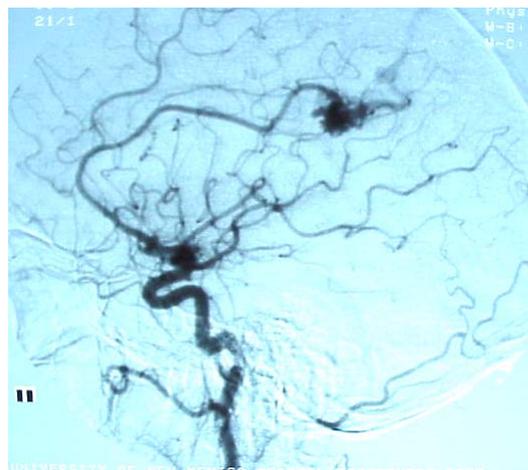




국제방사선방호위원회 간행물 85

중재적 의료절차에서 방사선 상해의 예방

Avoidance of radiation injuries from
medical interventional procedures



한양대학교
방사선안전신기술연구센터

ICRP Publication 85

중재적 의료절차에서 방사선 상해의 예방

Avoidance of radiation injuries from
medical interventional procedures

ICRP 승인: 2000년 9월

이 ICRP 간행물의 우리말 번역본은
ICRP의 허락을 받아 번역하고 ICRP
정신에 따라 무료로 배포합니다.

국제방사선방호위원회

중재방사선 절차에서 방사선 상해



환자: 3일 사이에 1회의 관상혈관조영술과 2회의 혈관성형술을 받은 환자에게 21개월 후 발생한 피부상해. 평가된 피부 누적선량은 15~20 Gy임. 피사조직 절제 후에도 피부이식이 계속 거부됨.(사진: F. Mettler)



의료진: 구형 X선 시스템을 부적절한 작업조건에서 계속 사용하여 많은 산란방사선을 피폭한 중재방사선 의사의 눈에 발생한 백내장.(사진: E. Vano)

역자 서문

인류가 방사선을 발견한 후 가장 먼저 의료 이용을 시도했고 지금도 가장 널리, 가장 유용하게 이용하고 있다. 방사선의 위험이 많은 사람들의 입에 오르내리지만, 지난 100여 년 동안 방사선으로 인해 목숨을 잃은 사람의 수는 쉽게 헤아릴 수 있는 정도임에 반해 방사선 덕분에 생명을 구한 사람 수는 헤아릴 수 없을 만큼 많다. 분명히 방사선은 항생제와 함께 현대의학을 굴리는 두 바퀴 중 하나이다.

원자력발전소나 방사성물질 이용 과정에 수반되는 방사선피폭은 매우 위험한 것으로 생각하여 민감하게 반응하는 사람들이 환자로서 의료기관에서 피폭하는 방사선량(의료상피폭)에 대해서는 비교적 관대하거나 무관심하기도 하다는 점은 특이하다. 사회가 민감한 원자력 방사선에 대해서는 규제도 대단히 까다롭지만, 의료방사선에 대해서는 많은 부분을 의료인의 전문적 판단에 맡기고 있다.

그러나 국민의 인공방사선 피폭 중 거의 대부분을 차지하는 피폭원은 의료방사선이다. 2006년 현재 가동되는 20기의 원자력발전소를 비롯하여 수많은 병원과 산업 현장에서 직업상 방사선을 취급하는 5만여 명의 방사선작업종사자가 피폭하는 방사선량을 모두 합하더라도 하나의 대형 대학병원에서 환자들이 진료를 위해 피폭하는 방사선량(의도적으로 매우 높은 선량을 부여하는 암치료 환자의 선량을 제외하고)의 20~30% 정도이다. 더욱이 소득 수준의 향상으로 진료의 빈도가 늘어나고 정교한 의료방사선 기술이 추가됨에 따라 환자가 진료과정에서 피폭하는 의료상피폭은 증가하는 추세에 있다.

생명을 위협하는 질병의 진료를 위해 방사선 피폭을 감수는 것이지만, 의료 목적 달성을 저해하지 않고도 환자의 피폭을 상당히 절감할 수 있는 여지가 있다. 의료상 피폭을 1%만 줄여도 직업상피폭의 총량보다 많은 방사선량을 국민이 덜 받게 된다.

이와 같은 관점에서 환자의 방사선량을 최적화할 필요성에 공감대가 형성되어 있고, 구체적 실천방안도 축적되고 있다. 이러한 실천방안의 일부는 이미 의료현장에서 다양한 형태로 이행되고 있다. 워낙 의료상피폭의 규모가 크기 때문에, 보다 적극적인 환자선량 감축을 유도하기 위한 노력들이 국제방사선방호위원회(ICRP)를 비롯한 여러 국제기구에서 진행되고 있다. 지난 10년여에 ICRP가 발간한 간행물의 거의 절반이 의료상피폭과 관련된 주제이다. 이 번역물은 이러한 ICRP의 노력을 국내에 보다 적극적으로 파급하기 위해 준비된 것이며, 같이 준비한 번역물 시리즈의 하나이다.

이 보고서는 중재방사선 절차에서 환자나 의료진의 방사선 상해를 예방함에 유용한 정보를 수록하고 있다. 중재방사선은 방사선을 진료의 직접수단이 아닌 간접적 지원수단으로 이용하는 것으로서, 협심증처럼 위협적인 질환을 치료하기 위한 관상

혈관성형처럼 매우 정교한 기술을 방사선 영상화를 통해 가능하도록 돕는다. 의료기술이 발전함에 따라 이러한 중재방사선 적용 범위도 계속 확대되고 있다. 중재방사선은 주로 실시간으로 영상을 보면서 시술하므로 환자가 방사선에 상당 시간 노출됨으로써 자칫 피부의 방사선 상해와 같은 부작용이 발생하기 쉽다. 환자뿐만 아니라 의료진도 많은 선량을 피폭하여 눈의 백내장과 같은 상해를 초래하기도 하므로 중재방사선 절차에서 방사선 상해의 예방은 중요한 이슈가 아닐 수 없다. 이 번역물이 이 분야 방사선방호 발전에 도움이 되기를 기대한다.

의학기술의 발전은 매우 빠르다. 비록 이 번역작업에서 지난 몇 년 사이에 발간된 ICRP 간행물을 대상으로 선정했지만, 내용 중 일부는 이미 낡은 기술일 지도 모른다. 그러나 번역이라는 제약이 있으므로 새로운 기술이 이미 가용하더라도 원문을 수정하지는 않았다. 다만, 난해하거나 보충 설명이 필요한 곳에는 일부 <역주>를 달았다. 또, 사용한 우리말 의학용어는 전문가 그룹에서도 통일되지 않은 경우도 있어, 때로는 좋은 용어가 선정되지 않았을 수도 있음을 밝혀 둔다. 영문 용어의 병기가 바람직한 곳에는 작은 글씨로 병기했다. ‘진단방사선의학diagnostic radiology’에 대해 국내 전문 단체는 방사선을 사용하지 않는 수단들의 신장과 함께 ‘영상의학’으로 변경했지만 이 번역물 시리즈에서는 전통적인 표현을 사용했다. 이 밖에도 비슷한 경우들이 있다.

2006년 4월, 이 간행물 번역 인쇄본의 국내 보급은 물론 웹을 통한 전자문서 파급까지 ICRP의 승인을 받았다. ICRP의 정신에 따라 번역물은 무료로 제공된다. ICRP는 종종 매우 엄밀한 표현을 갖는 간행물을 다른 언어로 옮기는 일의 어려움을 고려하여 번역의 품질에 유념하고 있다. 역자 나름대로는 원문의 의미를 손상하지 않기 위해 노력했지만 미진한 부분이 있을 것으로 본다. 그러므로 용어를 포함하여 수정이 필요한 내용을 발견한 독자는 적극적 피드백을 통해 적어도 전자문서가 계속 개선될 수 있도록 도움을 주기 바란다. 전자문서는 한양대학교 방사선안전신기술연구센터(iTRS) 홈페이지(<http://itrs.hanyang.ac.kr>)를 포함한 관련 전문단체의 웹에 게시할 것이다.

끝으로 이 번역물의 보급을 승인해 준 ICRP와 소요 비용을 지원한 한국과학재단에 감사드리고, 번역 작업에 동참해 준 박상현, 권정완, 박동욱 등 한양대학교 방사선안전연구실 학생들의 노고에 감사한다.

2006년 5월

이 재기

서문

여러 해 동안 국제방사선방호위원회(ICRP)는 의학에서 방사선 방호와 안전에 관한 조언을 담은 많은 보고서를 발간하였는데, ICRP 간행물 73은 이 분야의 일반적 개요이다. 이 보고서들은 방사선방호의 일반 원리를 요약하고, 의료와 생물의학 연구에서 전리방사선의 다양한 사용에 그 원리의 적용에 관한 조언을 다루고 있다.

이들 보고서의 대부분은 일반사항에 관한 것이어서 ICRP는 어려움이 발견되는 몇몇 특정 상황들에 접근하고자 한다. 문제가 되는 영역에 관한 보고서는 일상 업무에서 직접적으로 관련된 사람들의 접근이 용이한 방향으로 기술되고, 또 그 보고서가 널리 파급되도록 노력을 경주하는 것이 바람직하다.

이 방향으로 첫발은 1997년 9월 영국 옥스퍼드에서 열린 ICRP 회의에서 채택되었다. 당시, 제3분과위원회의 요청에 따라 ICRP는 의료방사선 방호에 관한 문제 주제에 관한 보고서를 발간하기 위한 여러 작업그룹을 설치하였다.

이 보고서는 그런 작업그룹들 중 한 그룹의 결과물이다. ‘중재방사선 절차에서 방사선 상해의 예방’에 관한 이 작업그룹에 위임사항은 중재방사선 절차에서 환자 및 의료진의 방사선 상해의 예방에 관한 목표지향적 문서를 발간하는 것이었다. 작업그룹에게 모든 가능한 결정적 영향, 선량 감축 기술, 그리고 지발 영향을 발견하기 위한 환자 후속추적을 고려하도록 요구하였다. 나아가 보고서가 실제적인 방호전략을 논의하도록 했다.

작업그룹의 위원은 다음과 같다.

C. Sharp (그룹장)	K. Faulkner	H. Nakamura
E. Vano	M. Wucherer	

객원위원은 다음과 같다.

J. Cardella	J. Hopewell	M. Rehani
M. Rosenstein	T. Shope	B. Worgul

이 보고서의 준비 기간의 제3분과위원회 위원은 다음과 같다.

F.A. Mettler, Jr. (위원장)	J.-M. Cosset	M.J. Guiberteau
L.K. Harding (간사)	J. Linecki (부위원장)	S. Mattsson
H. Nakamura	P. Ortiz-Lopez	L.V. Pinillos-Ashton
M.M. Rehani	H. Ringertz	M. Rosenstein
Y. Sasaki	C. Sharp	W. Yin
W.Y. Ussov		

이 보고서는 위에서 설명한 목적을 기여하는 것을 목표로 한다. 그러한 목적에 가능한 유용하도록, 보고서의 형식을 ICRP의 연보와 같은 통상적 ICRP 간행물과 약간 달리했다. 예를 들어, 각각의 새로운 장을 시작할 때 ‘요점’의 개관을 주었다. 중재 방사선 절차 후에 일어날 수 있는 방사선 상해의 종류와 특징을 더욱 분명히 보여주기 위하여 몇 개의 컬러 그림도 포함하였다.

ICRP는 2000년 9월 우편투표를 통하여 이 보고서의 발간을 승인하였다.

목 차

역자 서문	i
서 문	iii
중재적 의료절차에서 방사선 상해의 예방	1
1. 서 론	3
1.1. 연혁	3
1.2. 중재방사선 기술과 안전	5
1.2.1. 환자	5
1.2.2. 의료진	7
1.3. 이 문서의 목적	8
1.4. 참고문헌	8
2. 사례 보고	10
2.1. 배경	10
2.2. 상해	10
2.2.1. 환자 상해	10
2.2.2. 의료진의 상해	15
2.3. 참고문헌	17
3. 피부와 눈의 방사선병리학과 방사선 위험	19
3.1. 서론	19
3.2. 피부의 방사선병리학	21
3.2.1. 조기 영향	21
3.2.2. 지발성 영향	22
3.3. 눈의 방사선병리학	22
3.3.1. 기전	22
3.3.2. 염증과 세포살상 영향	23
3.4. 기타 조직	25
3.5. 참고문헌	25
4. 선량관리	27
4.1. 환자선량에 영향을 미치는 인자	30
4.1.1. 절차적 방법	30
4.1.2. 장비 관점	31
4.1.3. 교육훈련	32
4.1.4. 중재방사선의학 전용 시스템	32
4.1.5. 관리유지와 QA 프로그램	33
4.1.6. 의학물리 전문가	33

4.1.7. 실용적 조언	33
4.2. 의료진 선량에 영향을 미치는 인자	34
4.2.1. 운영 절차	34
4.3. 조달	37
4.3.1. 사양	37
4.3.2. 취역	38
4.4. 참고문헌	38
5. 환자의 요구	41
5.1. 방사선 위험에 대한 상담	41
5.2. 노출 기록	42
5.3. 후속추적	43
5.4. 주치의 통보	43
5.5. 환자에 대한 조언	43
5.6. 반복된 절차 확인체계	43
6. 시술자의 요구	45
6.1. 지식	45
6.2. 훈련	45
6.2.1. 방사선방호	45
6.2.2. 실용 기능숙달	46
6.3. 전문성 계속 개발	46
6.4. 감사	46
6.5. 새로운 절차의 개발	46
7. 권고사항	47
부록 A: 절차 목록	49
부록 B: 환자와 의료인 선량	51
부록B1: 시술 절차에서의 환자 선량	51
부록B2: 중재방사선학 종사자의 선량	52
부록 C: 임상 프로토콜의 예시	55
부록 D: 선량	57
D.1. 흡수선량	57
D.2. 피부 상해에 대한 환자선량 계측	57
D.3. 기타 선량계측	58
D.4. 직업상 선량에 대한 의료진 선량 계측	59
D.5. 참고문헌	62
부록 E : 조달 점검표	63

중재적 의료절차에서 방사선 상해의 예방

ICRP 간행물 85

ICRP 승인: 2000년 9월

요지-방사선방호나 방사선생물학에 적절하게 훈련되지 않은 임상 의사들이 중재적 방사선의학(형광투시로 안내되는) 기술을 사용하는 사례가 점점증하고 있다. 많은 중재방사선 시술자들이 이런 절차에서 상해의 잠재성 또는 그 발생을 감소시키는 간단한 방법들을 인식하지 못하고 있다. 까다로운 절차에 따르는 방사선량이 상해를 초래할 수 있는 경우에도, 많은 환자들이 방사선 위험에 대해 상담을 받지 못하며 후속 추적도 잘 받지 못하고 있다. 일부 환자들은 방사선 유발 피부손상을 겪으며, 젊은 환자들은 미래에 증가된 암 위험에 접할 수도 있다. 중재방사선 시술자들도 상해를 겪거나 진료에 제한을 받는 경우가 있는가 하면, 관계 직원들이 높은 선량을 피폭하도록 만들기도 한다.

몇몇 중재방사선 절차에서는 환자의 피부선량이 암 치료방사선에서 몇 회 분할 조사에서 경험하는 수준에 가까워진다. 방사선 유발 피부 상해가 부적절한 장비, 그리고 더 빈번하게는 열악한 운영 기술 때문에 환자들에게 일어나고 있다. 중재방사선 절차를 수행하는 의사와 의료진에서도 상해가 발견된다. 환자의 급성 방사선량이 2 Gy이면 홍반이나 백내장을, 7 Gy이면 영구 탈모를, 그리고 12 Gy이면 지발성 조직 괴사를 초래할 수 있다. 눈의 분할된 피폭(직업상피폭 포함)은 선량을 3개월 이내에 받는다면 4 Gy에서, 3개월 이상의 기간에 받는다면 5.5 Gy에서 백내장을 야기할 수 있다.

환자와 의료진의 선량을 관리하기 위한 실용적인 방법을 이 보고서에 열거한다. 최대 선량을 받는 환자 피부 부위의 흡수선량이 주된 관심사이다. 현장 임상 프로토콜은 각 중재방사선 절차의 유형별로 시술 절차의 여러 부분에 의한 누적 피부선량과 해당 부위에 대한 설명을 포함해야 한다. 중재방사선 시술자는 피부선량과 선량을 관리하는 실제 기술들에 관한 정보를 이용하도록 훈련되어야 한다. 반복될 수 있는 절차에 대해서는 1Gy, 기타 절차에 대해서는 3 Gy를 초과하거나 근접한 최대 누적 흡수선량은 환자기록에 올라야 하며, 그런 환자에 대해서는 후속추적 절차가 따라야 한다. 유의한 수준으로 방사선 유발 상해의 위험이 있을 경우에는 환자에 대해 상담을 실시해야 하며, 또 환자의 주치의에게 방사선 영향 가능성에 대해 알려야 한다. 중재방사선 기술을 사용하는 사람에 대한 훈련은 환자와 의료진의 방사선방호를

기본적으로 포함해야 한다. 모든 중재방사선 시술자는 시행한 절차의 결과를 방사선 상해 관점에서 검토해야 한다. 새로운 중재방사선 기술이 도입될 때는 방사선 위험을 포함한 위험과 편익을 고려해야 한다.

결론적 권고사항들이 마지막에 주어졌다. 부록은 절차, 환자와 의료진의 선량, 현장 임상 프로토콜의 예시, 사용하는 선량 계측량, 그리고 조달 점검표를 제공한다.

키워드: 중재방사선의학; 방사선방호; 흥반; 괴사; 백내장

1. 서론

요점

- 중재적 방사선의학(형광투시로 안내되는) 기술들이 방사선방호나 방사선생물학에 적절하게 훈련되지 않은 임상 의사들에 의해 사용되는 사례가 점점증하고 있다.
- 불필요하게 높은 선량으로 인해 환자들이 방사선 유발 피부상해를 겪고 있다. 젊은 환자들은 장차 암 위험의 증가에 직면할 수도 있다.
- 많은 중재방사선 시술자들이 그 절차에서 상해의 잠재성과 발생, 또는 선량관리 전략으로 그 발생을 감소시키는 간단한 방법들을 인식하지 못하고 있다.
- 까다로운 절차에 따르는 방사선량이 상해를 초래할 수 있는 경우에도, 많은 환자들이 방사선 위험에 대해 상담을 받지 못하며 상해 발생의 후속 추적도 잘 받지 못하고 있다.
- 중재방사선 시술자도 상해를 겪거나 진료에 제한을 받기도 하고, 관계 직원들이 높은 선량을 피폭하도록 만들기도 한다.
- 직업상 피폭선량은 불필요한 환자선량을 줄임으로써, 또 올바른 장비(차폐 장치 사용을 포함한)를 구매하고 사용함으로써 감소시킬 수 있다.

1.1. 연혁

(1) 1960년대 후반부터(Margulis, 1967) 의학계에서 방사선의학을 이용하는 중재 방사선 절차의 사용이 두드러지게 증가했으며, 그림 1.1과 1.2에서 보듯이 일부 국가에서는 그 빈도가 2~4년마다 두 배로 증가해 왔다.

(2) 오늘날의 실제 진료에서는 예를 들어 초음파, MRI나 CT와 같은 다른 방식으로 시각vision을 제공하고도 있지만 중재방사선의 기본적인 개념은 'X선 시각에 의한 열쇠구멍 수술keyhole surgery with X-ray vision(Thomson, 1997)'이다. 이 간행물은 X선에 의한 형광투시 이용에 대해서만 다룬다. X선에 의한 형광투시는 간략하게 다음과

No. of PTCA performed per 1,000 population

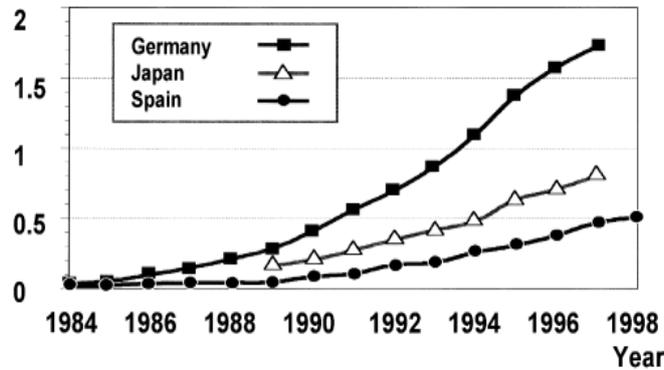


그림 1.1. 독일, 일본과 스페인에서 인구 1000명 당 연간 실행된 경피적 관동맥 혈관성형술(PTCA) 빈도. 여러 해 동안, 중재방사선 절차의 증가율은 기타 형광투시법 검사에 비해 높게 나타났다. 그림 1.1과 1.2는 각각, 지난 10~15년 동안 독일(Gleichmann 등, 1997), 일본(Takeyama, 1997) 그리고 스페인(Spanish Soc. Cardiol. 1998)에서 PTCA의 연간 횟수와 해당 연간 증가율을 보여주고 있다. 연간 증가율은 10~20%의 범위에 있다. 많은 국가에서 중재방사선 절차에 대한 진단 혈관조영 검사의 비율, 예를 들면 PTCA에 대한 동맥 조영술의 비율이 계속해서 감소중이다. 여기에는 두 가지 이유가 있는데, 첫째로는 중재방사선 절차의 상당한 증가이고, 둘째는 CT나 MR같은 대안 혈관촬영법의 발전이다. 그러므로 방사선의학과 심장병학계에서 모든 혈관 검사의 일부로서 중재방사선 절차의 중요성은 증가하고 있다. 중재방사선 절차의 수가 모든 X선 절차의 1% 정도인데 반해 개인 환자들의 방사선 피폭은 매우 클 수 있다. 만약 이러한 절차에서 방사선방호가 개선되지 않는다면, 증가하고 있는 중재방사선 절차의 빈도는 피할 수도 있는 방사선 상해의 건수를 상당히 증가시킬 것이다.

같이 정의된다.

통상 국소마취 또는 진정 상태에서 수행되며, 피부나 다른 경로를 통해 접근하고, 형광투시 영상을 사용하여 병소나 치료부위를 잡고 과정을 감시하며 요법을 관리하고 기록하는, 진단/치료의 안내 중재를 구성하는 의료절차

(3) 최초에 방사선의학자에 의해 개발되었지만, 형광투시 안내 기술의 발전 초기부터 심장병학자들이 이 분야에 진입하였고, 여전히 세계적으로 최다의 절차를 수행하는 전문분야가 되어 있다. 그러나 중재방사선의학(투시 안내기술에 대해 통상 사용

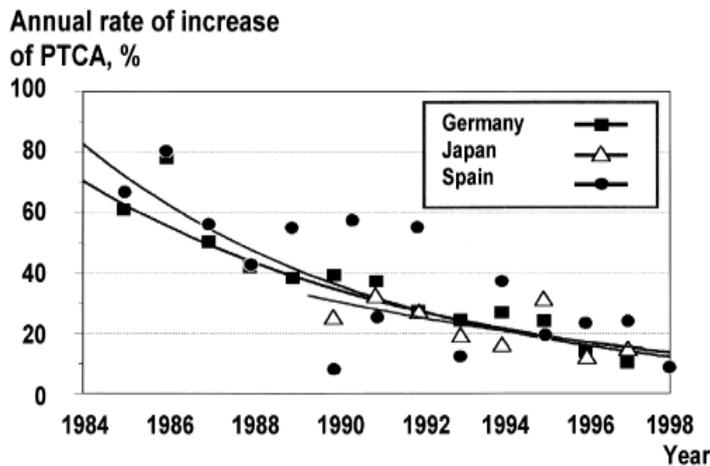


그림1.2. 일본, 독일, 스페인에서 PTCA 연간 증가 비율(출처와 설명은 그림1.1 캡션 참조).

되는 용어이며 이 간행물에서는 이러한 진료를 의미하는 것으로 한다)은 다른 많은 전문분야에 의해 재발견되었고, 형광투시법을 사용하는 비-방사선의학자의 목록은 늘어나고 있다(예: 비뇨기과 전문의, 위장병 전문의, 정형외과 전문의, 혈관외과 전문의, 외상학 전문의, 마취과 전문의, 소아과 전문의 등). 가까운 미래에 거의 모든 전문분야에 종사하는 의사들이 '중재방사선 의사'가 될 것이며, 이 기술이 더 많이 사용될 것으로 보인다. 많은 비-방사선의학자들이 이 기술을 점점 더 많이 사용함에 도 대부분은 방사선방호 훈련을 거의 받지 않았기 때문에, 그들에게 일상 진료에서 방사선 위험과 위험을 최소화하는 방법을 알리는 자료에 대한 절실한 요구가 있다.

1.2. 중재방사선 기술과 안전

1.2.1. 환자

(4) 중재방사선의학은 경제개발 단계와 관계없이 모든 나라의 의료에서 더 많은 환자에게, 더 적은 비용으로, 더 넓은 영역의 병리에 대해 치료기회를 제공하고 있다. 중재방사선 기술은 비싼 수술실과 오랜 입원의 필요성을 감소시킨다. 또한 중재방사선은 최소한의 침습성 기술을 사용하고 일반 마취 요구의 감소를 통해 환자에 대한 대부분의 위험을 줄인다. 나아가 이 기술은, 동반되는 위험은 높겠지만, 과거에는 접근이 어려웠던 병소의 치료를 가능하게 할 수 있다(Taylor와 Rodesch, 1995).

(5) 의학계에서 진단과 치료의 결정은 자연 병력의 이해와 각 사례의 치료에서 위험과 편익의 균형에 근거한다. 많은 환자들이 생명을 위협하는 병을 치료받을 것이며, 따라서 절차의 정당화는 상대적으로 단순하다. 그러나 어떤 기술은 명확한 의학적 인장조 없이도 사용되고 있는 증거가 있다(Lange과 Hillis, 1998). 불행하게도, 많은 중재방사선 시술자들에게서 X선에 의한 방사선 유발 상해의 위험에 관한 지식이 바람직한 수준보다 부족하다는 증거가 많아지고 있다.

(6) 1990년대 초반 이래로, 환자 피부에 방사선 유발 상해—홍반으로부터 큰 성형수술을 필요로 하는 궤사(이 간행물 속표지 사진 참조)에 이르는 피부손상의 총체적 스펙트럼에 걸치는—에 관한 보고가 늘어나고 있다(FDA, 1994, 1995; Shope, 1996; Schmidt 등, 1998; Vano 등, 1998a; SSK, 1997). 이러한 보고들은 실제 사례의 작은 일부만을 제시하는 것으로 간주되는데, 특히 그런 문제들이 통상 환자가 절차를 거치고 나서 며칠에서부터 여러 달 후, 중재방사선 시술자의 관리를 떠난 후에 발현하기 때문이기도 하다. 대부분의 이러한 상해, 특히 모든 심각한 상해는 피할 수 있는 것이다! 심각한 상해는 영구적 장애나 치유하기 어려운 만성 통증을 유발할 수 있기 때문에 특히 중요하다. 상해의 대부분은 시술자가 피부에 전달되는 방사선량에 주의하지 않기 때문에 일어난다. 부록A는 보편적 중재방사선 절차의 목록과 함께 상대적 선량 수준과 반복 피폭 가능성에 대한 지침을 제공한다. 신경방사선의학에서, 만약 방사선 1차 빔이 안구를 통과하면 눈에 백내장 유발의 특별한 위험이 있다.

(7) 상해 보고가 구형 장비의 사용에 국한되지 않고, 고선량률을 발생할 수 있는 기기의 사용에서는 새로운 디지털 장비에서도 해당됨을 아는 것이 중요하다. 중재방사선 투시기기의 사용자는 디지털이든 아날로그든 다량의 영상 획득(50장에서부터 1000장 이상까지)이 형광투시로 받은 선량에 추가하여 총 피부선량을 더한다는 것을 명심해야 한다.

(8) 생존한 환자들에게는 주된 장기간 영향으로서 암 유발이 가능하다. 중재방사선 기술이 삶의 질을 향상시키기 위해 시술되는 많은 환자들이 노년에 있는데, 이러한 환자들은 방사선으로 유발된 암을 발달시킬 정도로 충분히 오랫동안 생존하지 않을 것이다. 그러나 환자의 비율에서 중년이나 청년, 나아가 일부 아동이 차지하는 부분이 상당하며 또한 증가하는 추세이다. 이들에게는 일차적 질환이 완치되더라도 중재방사선 절차에서 피폭한 장기에 방사선 유발 암을 진단시키기에 충분한 기간 생존할 것이다. 아동, 특히 아주 어릴 때 생명을 위협하는 병을 가진 아동들이 진료 중에 상당한 방사선량을 받는다면 가장 큰 암 위험에 처하게 된다. 아동들은 골수의 방사선 피폭 결과로 몇 년 사이에 백혈병에 걸릴 수 있으며, 흉부와 목에 방사선 조사의 결

과로서 유방암(Vano 등, 1998a)이나 갑상선암을 초래할 수도 있다. ICRP는 그 이하에서는 위험이 없는 선량은 없다고 생각하고 있으므로(ICRP, 1991), 방사선 조사야를 제한하고 선량을 제약함으로써 위험을 최소화함이 매우 바람직하다.

(9) 환자의 인지동의¹⁾는 의료행위에서 필수 요소이므로 환자(아동일 경우는 보호자)에게 예정된 절차의 위험에 대해 상담해주는 것은 의무이다. 색전증이나 발작, 조영제 알레르기 같은 방사선 외적 위험은 통상 논의되지만 방사선 상해 가능성은 거의 언급되지 않는다. 방사선 유발 홍반이나 더 심각한 상해, 또는 향후 방사선 유발 악성종양의 상당한 가능성 등 위험이 있다고 판단되는 경우에는, 인지동의를 구할 때 이 잠재적 결과에 대해 논의해야 한다. 가용하다면 전리방사선을 사용하지 않는 기술에 대한 고려도 상담에 포함해야 한다. 절차가 비정상적으로 어려워져 방사선이나 다른 영향의 가능성이 증가한 경우에는, 절차 후에 다시 환자와 상담하고 적당한 후속추적을 배려해야 한다.

1.2.2. 의료진

(10) 환자만 위험에 처하는 것은 아니다. 의료진도 산란 방사선으로부터 선량을 받지만, 이러한 사실이나 그로 인한 위험을 인식하지 않는 것 같다. 실제로 1960년대 후반까지는, 특히 형광투시를 수행하는 의료진의 방사선 위험이 주된 이유가 되어 중재방사선 시도가 위축되었다(Margulis, 1967). 특히 장비가 구체적으로 중재방사선을 위해 설계되지 않은 경우, 의료진의 선량도 마찬가지로 높을 수 있다(Vano 등, 1998a, 1998b, 1998c). 일부 국가에서는, 중재방사선 시술자의 손, 눈 그리고 갑상선에 누적되는 방사선량 때문에 수행하는 절차의 수를 제한받고 있으며, 임상 의사에게 백내장을 포함한 방사선 상해 발생에 관한 언짢은 보고가 있어 왔다(Vano 등, 1998d).

(11) 의료진 선량은 환자선량에 상관되는데, 높은 환자선량은 중재방사선 시술실 안의 산란 방사선 양을 증가시키기 때문이다(Williams, 1997). 나아가 의료진 선량은 부적합한 X선 장비나 불충분한 개인 방호가 사용될 경우 상당히 증가할 수 있다(Vano 등, 1998b, 1998c). 중재방사선 시술자뿐만 아니라 같은 장소에 있는 다른 의료진도 방사선량을 받게 된다. 간단하고 비용 효과적인 절차적, 기기적 수단들이 임상 목적을 저해하지 않고 환자선량을 줄일 뿐만 아니라, 모든 의료진 선량도 상당

1) <역주> 'informed consent'에 대해 정보를 받아 이해를 바탕으로 동의한다는 의미로 여기서는 '인지동의(認知同意)'라는 용어를 선택했다. '인지'의 사전적 의미가 '인정하여 앎'이므로 다른 적절한 용어가 없다면 통용될 수 있을 것으로 판단하였다.

히 줄이는 것으로 나타났다(Vano 등, 1998b).

1.3. 이 문서의 목적

(12) 이 문서의 주된 목적은 환자와 병원에 근무하는 의료진에게 방사선 위험을 최소화하는 조언을 제공하기 위한 것이다. 문서는 모든 중재방사선 의사와 방사선사를 포함한 보조 의료진, 그리고 의료기관 관리자를 겨냥한다. 문서는 중재방사선 절차의 방사선안전 문제만을 고려한다. 다른 임상문제는 개별 임상 의사의 소관이다.

(13) 이 문서 목적을 달성하기 위해 다음을 지향한다.

- 심각한 방사선 영향을 야기한 중재방사선 절차에 대한 정보를 제공한다(피할 수 있었던 상해의 사건사례 제시).
- 피부와 눈에 전리방사선이 미치는 생물학적 영향의 바탕을 설명한다.
- 새로운 장비의 획득에 관한 조언을 포함하여, 절차 과정의 환자 방사선량을 관리하고 의료진의 직업상 선량을 감축하기 위한 실용적인 조언을 제공한다.
- 사전 및 사후(필요시) 상담과 상해 발생 우려가 있는 환자의 후속추적에 관한 지침을 제공한다.
- 새로운 중재방사선 기술의 도입을 위한 방사선방호 관련 권고를 제공하고, 중재방사선 시술자의 훈련에 대해 권고한다.

1.4. 참고문헌

- FDA, 1994. Avoidance of serious x-ray-induced skin injuries to patients during fluoroscopically-guided procedures. Statement 9 Sept. 1994, Food and Drug Administration, Rockville, MD, USA.
- FDA, 1995. Recording information in the patients' medical record that identifies the potential for serious x-ray-induced skin injuries following fluoroscopically guided procedures. Statement 15 Sept. 1995, Food and Drug Administration, Rockville, MD, USA.
- Gleichmann, U., Mannebach, H., Lichtlen, P., 1997. 13. Bericht über Struktur und Leistungszahlen der Herzkatheterlabors in der Bundesrepublik Deutschland. *Zeitschr. f. Kardiologie* 86, 879-881.
- ICRP (1991), 1990. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60, *Annals of the ICRP* 21 (1.3).
- Lange, R.A., Hillis, L.D., 1998. Use and overuse of angiography and revascularization for acute coronary syndromes. *New Engl. J. Med.* 1838-1839.

- Margulis, A.R., 1967. Interventional diagnostic radiology - a new subspecialty. *Am. J. Radiol.* 99, 671-762.
- Schmidt, Th., Wucherer, M., Zeitler, E., 1998. Grundlagen zur Abschätzung der Strahlenexposition bei interventionellen Massnahmen. January 1998, Inst. f. Mediz. Phys., Nurnberg. Germany.
- Shope, T.B., 1996. Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy. *RadioGraphics* 16, 1195-1199.
- Spanish Society of Cardiology, Section of Interventional Cardiology, 1998. Data forwarded through E. Vano (personal communication).
- SSK, 1997. Interventionelle Radiologie. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 9. Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart, New York.
- Takeyama, Y., 1997. Concept and future development of coronary intervention. *Medicine and Drug J.* 33, 2141-2148.
- Taylor, W., Rodesch, G., 1995. Interventional neuroradiology. *Brit. Med. J.* 311, 789-792.
- Thomson, K.R. 1997. Interventional radiology. *Lancet* 350 (9074), 354.
- Vano, E., Arranz, L., Sastre, J.M. et al., 1998a. Dosimetric and radiation protection considerations based on some cases of patient skin injuries in interventional cardiology. *Brit. J. Radiol.* 71, 510-516.
- Vano, E., Gonzalez, L., Guibelalde, E., et al., 1998b. Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology. *Brit. J. Radiol.* 71, 954-960.
- Vano, E., Gonzalez, L., Van Loon, R., et al. 1998c. Strapir, an European initiative for optimizing radiation protection in interventional radiology. In: *LowDoses of Ionizing Radiation: Biological Effects and Regulatory Control*. Proceedings of a symposium, Sevilla, Spain, 17.21 November 1997, jointly organized by IAEA and WHO. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- Vano, E., Gonzalez, L., Beneytez, F., et al., 1998d. Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimised interventional radiology laboratories. *Brit. J. Radiol.* 71, 728-733.
- Williams, J. 1997. The interdependence of staff and patient doses in interventional radiology. *Brit. J. Radiology* 70, 498-503.

2. 사례 보고

요 점

- 몇몇 중재방사선 절차의 환자 피부선량은 암 치료방사선의 몇 회 분할 조사에서 경험하는 수준에 접근한다.
- 부적절한 장비, 그리고 더 빈번하게는 열악한 운영 기술 때문에 중재방사선 절차에서 매우 높은 방사선량의 결과로 환자에게 피부상해가 발생하고 있다.
- 최근에는 부적절한 기기나 불량한 운영기술, 그리고 최적 안전관행 미달로 인해 중재방사선 절차를 수행하는 의사와 의료진에게도 상해가 발견된다.

2.1. 배경

(14) 불행하게도, 중재방사선 절차로부터 피부에 염증과 세포살상 영향에 따른 상해를 보고하는 문헌이 늘어나고 있다(Huda와 Peters, 1994; Kuwayama 등, 1994; Lichtenstein 등, 1996; Shope, 1996; Sovik 등, 1996; Nahass, 1997; D'Incan과 Rogers, 1997; Stone 등, 1998; Nahass와 Cornelius, 1998). 흉반에서부터 심각한 피부 괴사까지 심각도 범위를 가진 염증과 세포살상 영향에 대한 다양한 사례들이 있다. 이 상해들은 주로 환자들에게 일어난 것이지만, 문헌이나 일화 양쪽에서 의료진의 상해도 보고되고 있다.

2.2. 상해

2.2.1. 환자 상해

(15) 거의 대부분 보고에서, 사건 후 정보가 거의 없거나 부족하여 환자 피부나 다른 장기의 선량을 정확히 평가하는 데 필요한 X선 노출의 기술적 인자를 알 수 없다. 많은 사건에서 총 투시 노출시간이나 기록된 영상의 수에 대한 자료도 없다. 사례 중 많은 경우에, 절차를 수행하는 의사들이 피부 흡수선량이 염증이나 세포살상 영향을 일으키는 단계까지 접근하거나 초과함에 대해 인식하지 못

했던 것으로 확실히 나타났다. 형광투시 시스템의 운전 변수 감시가 일상 관행으로 되어 있지 않았다. 보고된 사례 일부에서만, X선 시스템의 전형적 기술 인자에 근거하여 선량을 회구적으로 평가하거나(Carsten 등, 1996) 환자 팬텀을 이용하여 선량을 측정하는 노력(Huda와 Peters, 1996)을 기울였다.

(16) 사례1: 그림 2.1 a~e에 형광투시 X선 맞인 피부 상해의 예를 보인다. 이 40세 남자의 상해는 관상동맥 혈관조영 진단, 관상동맥성형술, 그리고 부작용으로 인한 2차 혈관조영 절차가 복합된 결과이다. 부작용으로 관상동맥 대체 혈관이

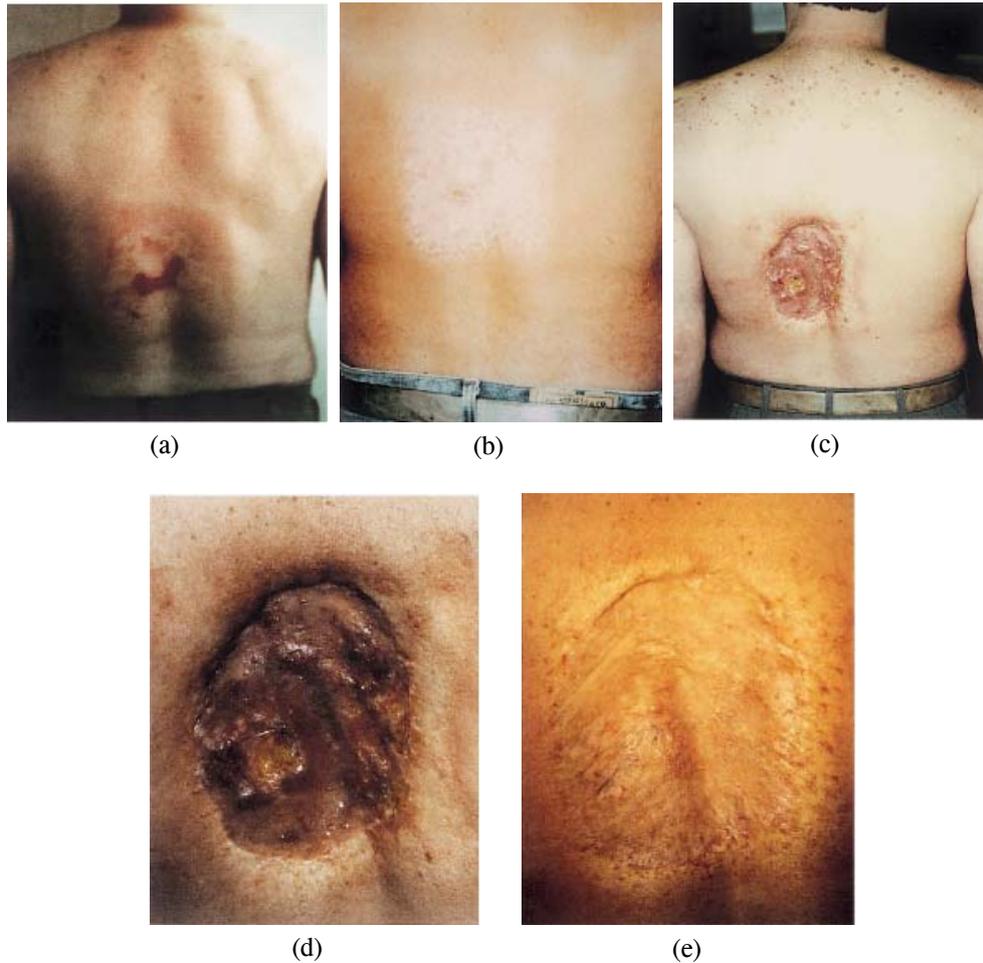


그림 2.1. 사례1(사진 T. Shope 제공). (a) 몇 차례에 걸친 동맥 혈관조영, 관상동맥성형술 후 6~8주 후 환자의 등. (b) 절차 약 3개월 후 상태. 중앙에 작은 궤양화된 부분이 보인다. (c) 절차 후 약 18~21개월의 상태. 피부괴사가 분명하다. (d) 사진(c)를 당겨본 사진. (e) 피부이식 후 환자의 등.

식을 시행했는데 모든 절차가 같은 날에 이루어졌다(Shope, 1996). 그림2.1a는 절차 후 6~8주에서 상해 부분을 보여준다. 부위가 절차 한 달 후 붉게 변했고, 그 일주일 후에 껍질이 벗겨졌다고 설명하고 있다. 절차 8주 후에는 2도 화상처럼 나타났다. 그림2.1b는 약 3개월 후(사진의 정확한 날짜는 불분명함)의 상태를 보이는데 중심부 근처 작은 궤양화 부분을 제외하고는 치료된 화상처럼 보인다. 그 다음 몇 달 동안 점진적인 괴사와 함께 피부가 와해되었다(그림2.1c 및 d). 상해는 결국 피부이식을 요구했다(그림2.1e). 환자가 받은 피부선량의 크기는 알려져 있지 않다. 그러나 상해의 특성으로 볼 때 피부의 흡수선량이 20 Gy를 초과한 것으로 보인다(Wagner 등, 1994). 그레이(Gy)의 정의에 대해서는 부록D를 참조하라. 이 경우(다른 경우에도 마찬가지) 중재방사선 시술자가 전달되는 선량 준위를 인식하지 못했고, 회구적으로 선량을 재구성할 수 있는 정보도 불충분하다는 점이 상당한 우려점이다.

(17) **사례2:** 긴 시간 형광투시 노출이 요구되는 중재 신경방사선의학 절차가 독두나 탈모를 초래하는 것으로 설명되고 있지만, 더 심각한 피부 영향은 보고되지 않고 있다(Huda와 Peters, 1994; Kuwayama 등, 1994; Krasovec과 Trueb, 1998). 3일 간격으로 두 단계로 시술된 왼쪽 결함궤도 동정맥 기형(paraorbital arteriovenous malformation)에 대한 동맥경유 전색(transarterial embolisation) 후에 머리의 오른쪽 후두부에 일시적 탈모 사례가 보고되었다(Huda와 Peters, 1994). 투시 시간이 기록되어 있으며, 이방X선 시스템(biplane system)에 의한 PA투사와 측면투사에서 총 선량은 절차 후 팬텀 측정으로부터 각각 6.6 Gy와 1.7 Gy인 것으로 평가되었다. 그림2.2는 결과로 나타난 탈모를 보이고 있다. 재생된 머리카락이 원래보다 더 희었지만 3개월 후에 모가 재생된 것으로 보고되었다.



그림 2.2. 사례2(사진제공 W. Huda). 전색 절차 5~6주 후 오른쪽 후두부의 일시적인 탈모.

(18) **사례3:** 목정맥 경유 간내 문맥정맥단락술(transjugular intrahepatic portosystemic shunt(TIPS)) 절차를 거친 세 명의 환자에게서 방사선 피부상해가 보고되었다(Nahass와 Cornelius, 1998). 첫째 보고사례는 장비의 기술 인자도 투시노출 총 시간도 알려지지 않았다. 당뇨병과 알코올성 간질환이 있는 42세 남성 환자는 2일과 9일 간격으로 실시된 3회에서 총 12시간 15분 동안 TIPS 절차를 거쳤다. 최초 절차 6주

후에, 그의 등 중간에 점상으로 케사가 있는 20x15cm의 궤양반이 나타나 2주간 지속되었다. 조심스런 치료가 이루어졌는데, 그림2.3a는 절차 2년 후에 나타난 굳은 플라크(sclerotic plaque)를 보여주고 있다. 다른 두 경우는 각각 90분의 투시(4시간 20분의 총 절차 시간)와 알려지지 않은 시간 동안의 투시(6시간 30분의 총 절차 시간)로 인한 결과이다. 두 상해는 분층피부이식을 필요로 했다. 그림2.3b는 TIPS 절차 14개월 후 3번째 환자의 등 중앙에 나타난 궤양화반을 보여주고 있다.

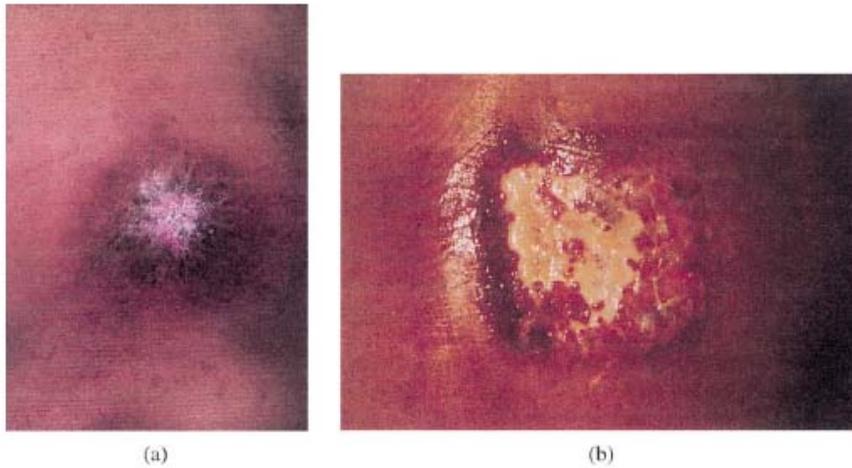


그림 2.3. 사례3(사진제공 Nahass와 Cornelius, 1998). (a) 3회의 TIPS 후 환자의 등에 나타난 색소 과다침착 환부에 둘러싸인 경화성 탈색반. 이 변화는 절차 2년 후에 나타났고, 만성 방사선피부염의 대표적인 사례로 설명된다. (b) TIPS 14개월 후 Nahass와 Cornelius가 설명한 3번째 환자의 등에 나타난 색소 과다침착 환부에 둘러싸인 직사각형 형상의 궤양화반. 궤양부는 결국 절제되었고 분층피부이식으로 성공적으로 치료되었다.

(19) **사례4와 5:** 그림2.4는 수평 X선 빔으로 대략 75~100분의 투시가 요구된 절제 절차 후에 1997년 2월 7세 여아의 오른 팔에 나타난 방사선 피부염을 보여준다. 그림2.5는 1년 간격으로 행해진 2회의 절제 절차로 인한 만성 방사선 피부염을 보여준다. 두 번째 절차 한 달 후에 이 환자는 오른쪽에 병변으로 피부과 전문의 진단을 받았다. 2년 후에 이 환자에게는 그림2.5에 보이는 10cm x 5cm의 감각이 무딘 플라크의 여러 곳에 혈관확장증을 동반한 저색소 또는 과색소 침착이 나타났다. 그녀의 오른 팔 근육에 미친 영향은 운동 제한을 초래했다. 각 절차는 5시간 지속된 것으로 보고되었지만 노출시간은 알려지지 않았다. 두 번째 절차에서는, 수평 X선 빔이 90~120분 동안의 절차에 사용된 것으로 평가되었다. 이러한 정도의 노출시간은 절차 당 대략 11~15 Gy의 피부선량을 측면

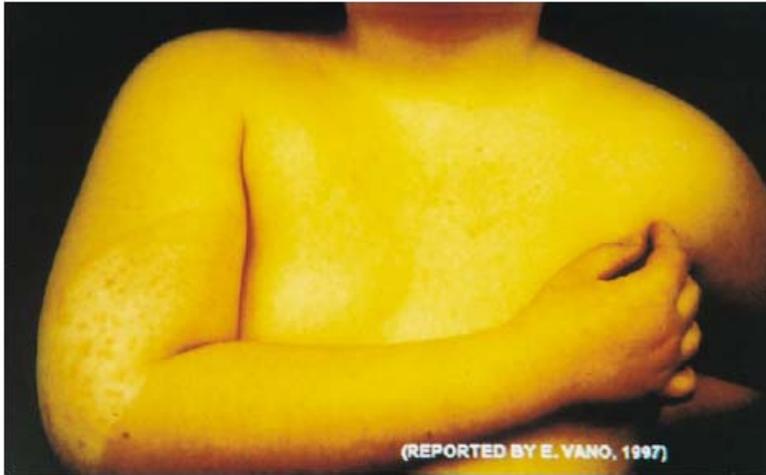


그림 2.4. 사례4(사진제공 Vano 등, 1998a). 오른쪽 팔의 방사선 피부염. 7세 환자. 오른쪽 팔에 RF 절제 4개월 후에 찍은 사진.



그림 2.5. 사례5(사진제공 Vano 등, 1998a). 만성 방사선 피부염: 위축성 경화반. 17세 환자. 2회의 절제 2년 후에 찍은 사진.

빔으로부터 초래할 것으로 평가되었다. 1회 이상의 심장병 RF 카테터 절제 절차 후 환자에게서 발견된 여러 사례가 자세히 연구된 바 있다(Vano 등, 1998a). 기하 배열과 영상 성능이 최적화되지 않은 이방X선 시스템 사용은 이들 절차에서 측면 투사와 관련하여 높은 피부선량에 기여 인자인 것 같다. 이 사례들에 대한 더 자세한 설명과, 절차와 관련한 방사선량 재구성 과정에 대해서는 참고문헌을

참조할 수 있다.

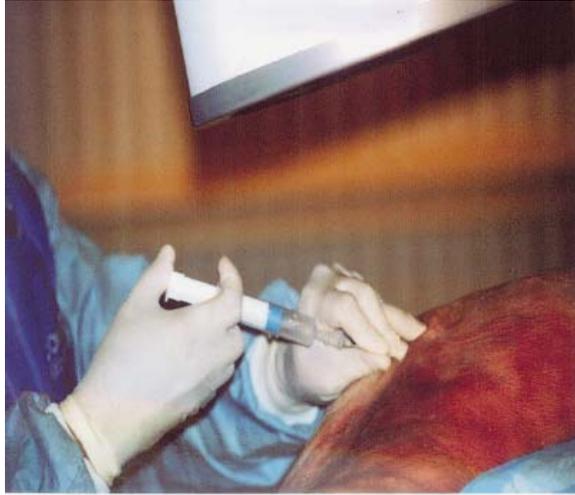
(20) 미국 식품의약품청FDA은 다른 어떤 절차보다 심장 부정맥 RF 카테터 절제가 원인이 된 방사선 상해에 대해 많은 보고를 받았다. 이 절차로 인한 상해가 설명된 사례보고가 발견되었다(Nahass, 1997; Vano 등, 1998a). 많은 경우 환자가 여러 번의 수술을 받은 때 상해가 더 심각했는데, 몇 경우는 성공적인 결과를 얻으려는 시도로 다른 의료시설에서 절차를 반복하기도 했다. 이것은 의사들이 이전의 중재방사선 절차에 의한 방사선 노출에 관련된 정보를 가질 필요가 있음을 보여준다. 이러한 유형의 방사선 상해에서 보이는 전형적인 특성으로서, 방사선의학 절차 후 어떤 기간에 피부 상황과 관련한 불만 때문에 환자가 피부과 의사를 찾는다는 것을 여러 경우에서 보여 주었다. 많은 경우, 방사선의학 절차와 관련이 늦게 이루어지거나 다른 인자에 초기 요인을 두었다.

2.2.2. 의료진의 상해

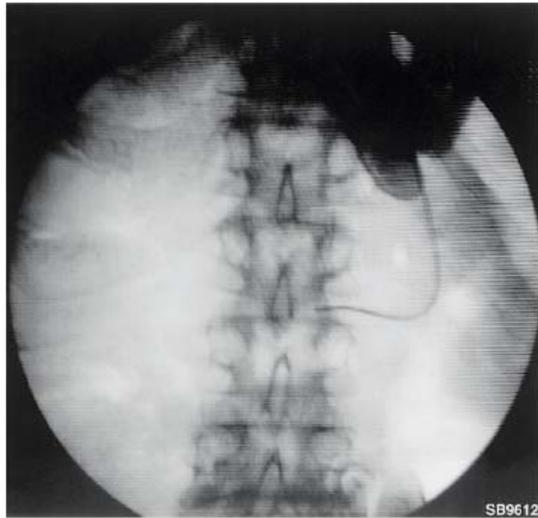
(21) **사례6:** 많은 중재방사선 절차에 걸리는 장시간의 방사선 조사 시간 때문에, 이런 절차들은 절차를 수행하는 의사들이 산란 방사선에 직업상으로 피폭하는 것을 높일 잠재성도 있다. 중재방사선 절차에 기인하여 직업인에게 나타난 염증 또는 세포살상 영향의 상해에 대해 검증된 정보는 매우 한정되어있다. 이런 절차를 수행하는 의료진에게 조사되는 산란 방사선 준위 또는 선량률 평가치나 보고는 많으나, 그러한 상해를 기록한 보고는 한 건이 있을 뿐이다. Veno(1998)는 두 중재방사선 의사와 두 간호사의 눈에서 안과학적인 수정체 상해를 기술하고



그림 2.6. 사례6(사진제공 Vano 등, 1998b). 탁자 상부 X선 관으로부터 높은 수준의 산란방사선이 발생하는 중재방사선의학에 종사한 의사의 수정체에 발생한 방사선 유발 혼탁.



(a)



(b)

그림 2.7. 척수 자극 전극을 투시안내로 위치시킴. 절차를 수행하는 의사 손에 X선 직접노출을 초래하는 관행을 보여줌(사진제공 S. Balter). (a) 의사의 손이 X선 빔 내에 있음. 만약 이 상황에서 노출이 일어나면, 손은 직접 조사를 받는다. (b) 결과적으로 영상에서 손이 보이게 된다.

있다. 이 상해는 절차가 진행되는 동안에 방에 있던 의료진에게 산란 방사선 피폭 수준을 증가시킨 탁자상부 X선관 시스템을 사용한 두 시설에서 일어났다(그림2.6). 이 두 시설에서 중재방사선 의사들의 수정체 선량 평가치는 분할 또는

지속된 피폭에서 염증이나 세포살상 영향 상해에 대한 문턱선량을 4년 이내에 초과하는 것으로 나타났다.

(22) 미국 식품의약품청은 X선 투시 안내 척수자극을 이용한 통증 완화를 위한 절차를 많이 수행한 마취과 의사가 손 피부에 변화나 상해를 입은 일화 같은 보고를 많이 받았다(Wagner와 Archer, 1998). 이 절차는 보통 이동형 C-arm 시스템으로 진행된다. 환자는 반듯이 누운 상태에서 X선 빔이 등을 횡으로 지나도록 향하게 된다. 만약 빔이 적절하게 집중되지 않았고, 투시 안내로 자극 바늘을 위치시키는 과정에서 지극히 조심하지 않으면 중재방사선 시술자의 손에 직접 X선 빔에 노출될 가능성이 있다. 그러한 절차를 많이 수행한 마취과 의사가 손에 방사선 유발 상해의 특징적 변화를 겪은 보고들이 접수되고 있다. 받은 선량이나 상해에 대한 자세한 설명은 알려지지 않았다. 그림 2.7은 척수의 전기자극 방법에 의한 통증 경감 절차에 대한 교육을 받고 있는 의사들을 위한 훈련과정의 실습 모습이다. 영상은 절차를 진행하는 의사 손의 피폭을 방지하는 주의가 부족함을 입증하고 있다.

2.3. 참고문헌

- Carstens, G.J., Horowitz, M.B., Purdy, P.D., et al., 1996. Radiation dermatitis after spinal arteriovenous malformation embolization: case report. *Neuroradiology* 38, S160-S164.
- D'Incan, M., Rogers, H., 1997. Radiodermatitis following cardiac catheterization. *Arch. Dermatol.* 133, 242-243.
- Huda, W., Peters, K.R., 1994. Radiation-induced temporary epilation after neuroradiologically guided embolization procedure. *Radiology* 193, 642-644.
- Krasovec, M., Trueb, R.M., 1998. Tempora re ro ntgenepilation nach embolisation einer zerebralen Gefassmissbildung. *Hautarzt* 49, 307-309.
- Kuwayama, N., Takaku, A., Endo, S., et al., 1994. Exposure in endovascular surgery of the head and neck. *Am. J. Neuroradiol.* 15, 1801-1808.
- Lichtenstein, D.A., Klapholz, L., Vardy, D.A., et al., 1996. Chronic radiodermatitis following cardiac catheterization. *Arch. Dermatol.* 132, 663-667.
- Nahass, G.T., 1997. Acute radiodermatitis after radiofrequency catheter ablation. *J. Am. Acad. Dermatol.* 36, 881-884.
- Nahass, G.T., Cornelius, L., 1998. Fluoroscopy-induced radiodermatitis after transjugular intrahepatic portosystemic shunt. *Am. J. Gastroenterol.* 93, 1546-1549.

- Shope, T.B., 1996. Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy. *RadioGraphics* 16, 1195-1199.
- Sovik, E., Klow, N.-E., Hellesnes, J., et al., 1996. Radiation-induced skin injury after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Acta Radiol.* 37, 305-306.
- Stone, M.S., Robson, K.J., LeBoit, P.E., 1998. Subacute radiation dermatitis from fluoroscopy during coronary artery stenting: evidence for cytotoxic lymphocyte mediated apoptosis. *J. Am. Acad. Dermatol.* 38, 333-336.
- Vano, E., Arranz, L., Sastre, J.M., et al., 1998a. Dosimetric and radiation protection considerations based on some cases of patient skin injuries in interventional cardiology. *Brit. J. Radiol.* 71, 510-516.
- Vano, E., Gonzalez, L., Beneytez, F., et al., 1998b. Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimised interventional radiology laboratories. *Brit. J. Radiol.* 71, 728-733.
- Wagner, L.K., Eifel, P.J., Geise, R.A., 1994. Potential biological effects following high x-ray dose interventional procedures. *J. Intervent. Vasc. Radiol.* 5, 71-84.
- Wagner, L.K., Archer, B.R., 1998. *Minimizing Risks from Fluoroscopic X Rays: Bioeffects, Instrumentation, and Examination. Partners in Radiation Management*, The Woodlands, TX, USA.

3. 피부와 눈의 방사선병리학과 방사선 위험

요 점

- 단일 절차 또는 근접한 절차들에 의해 조직에 부여되는 급성 방사선량은 다음의 상해를 일으킬 수 있다.
 - a) 2 Gy에서 홍반
 - b) 2 Gy에서 백내장
 - c) 7 Gy에서 영구 탈모
 - d) 12 Gy에서 지발성 피부 괴사
- 중재방사선 시술자가 겪는 예처럼 눈에 지속적 피폭은 다음의 상해를 일으킬 수 있다.
 - e) 3개월 이내에 4 Gy의 선량을 받을 경우 백내장
(3개월 이상 기간에 노출되면 5.5 Gy)

3.1. 서론

(23) 피부가 X선을 피폭하면 염증과 세포살상 영향 또는 암이 발생할 수 있다. 선량이 유의한 문턱선량을 초과하면 표피탈락이나 궤양과 같은 유형의 염증과 세포살상 영향의 위험은 선량에 비례한다. 피부의 문턱선량은 상대적으로 높지만 중재방사선 절차에서는 이를 초과 할 수도 있다. 아직 선량과 반응의 관계가 정확하게 밝혀지지 않았지만 낮은 선량으로도 암을 일으킬 수 있을 것이다.

(24) X선에 의해 일시에 피부가 피폭하면 총 선량, 선량률, 그리고 피폭 양상에 따라 몇 가지 특징적인 반응이 과상적으로 나타난다. 형광투시로 인한 잠재적 피부손상은 알려져 있는데(Wagner와 Archer,1998) 그 발현시기와 해당 문턱선량을 표3.1에 보였다. 여러 운영 모드의 실제 선량이나 선량률을 알지 못한다면 중재방사선 환자의 선량이 의도하지 않게 문턱선량까지 도달 할 수 있다. 표3.1의 4열과 5열에 전형적(실제) 선량률의 효과를 문턱선량까지 도달시간(분)으로 보여 주고 있는데, 이는 특정 장비로부터 전달되는 선량률을 아는 것이 중요함을 강조한다. 실제 선량률의 효과를 반영하지 않을 때는 '100분'과 같은 경험법칙을 사용해서는 안 된다.

(25) 방사선치료나 산업현장 사고 피폭에서도 발견되는 이러한 많은 변화의 진전을 이끄는 병리생리학적 기전들도 지금은 잘 수립되었다(Hopewell, 1986; Seiber와 Hopewell,1990). 여러 변화들의 관계 역시 잘 정립되어 있다. 하지만 개개 사례에서 피부의 변화를 해석함에는 상당부분 관찰된 변화의 경위에 대한 지식이 필요하다. 그러나 방사선의료 절차에서 과피폭에 대해 보고된 사례에서 경위가 불분명한 경우도 많았고 따라서 설명에는 불확실성이 있다.

표 3.1. X선 형광투시에서 피부와 눈의 수정체에 가능한 영향

영향	문턱선량 근삿값 (Gy)	발병 시기	0.02Gy/min의 전형적 정상 선량률로 형광투시 시간(분) ^{c)}	0.2Gy/min의 전형적 고선량률로 형광투시 시간(분) ^{c)}
피부^{a)}				
급성 일시적 홍반	2	2-24 시간	100	10
주 홍반 반응	6	≈1.5 주	300	30
일시적 탈모	3	≈3 주	150	15
영구 탈모	7	≈3 주	350	35
건성 박리	14	≈4 주	700	70
습성 박리	18	≈4 주	900	90
2차 궤양화	24	>6 주	1200	120
지발성 홍반	15	8-10 주	750	75
국소빈혈성 진피 궤사	18	>10 주	900	90
피부 위축(1단계)	10	>52 주	500	50
모세혈관확장증	10	>52 주	500	50
진피 궤사(후발)	>12	>52 주	750	75
피부암	모름	>15 년	N/A	N/A
눈^{b)}				
수정체 혼탁(검측가능)	>1-2	>5 년	>50 (눈)	>5 (눈)
수정체/백내장(최양함)	>5	>5 년	>250 (눈)	>25 (눈)

a) 투시 피폭이 피부반응에 미치는 잠재영향. Hopewell(1986)을 참조한 Wagner와 Archer(1998)에서 인용.

b) 투시 피폭이 수정체에 미치는 잠재영향. 식별 가능하지만 비증후성 방사선 유발 변화를 초래하는 선량과 유의한 시각장애나 약화를 초래하는 선량을 나타냄.

c) 여러 운영 모드의 실제 선량이나 선량률을 알지 못한다면 증재방사선 시술자의 선량이 의도하지 않게 문턱선량까지 도달 할 수 있다. 4열과 5열에 전형적(실제) 선량률의 효과를 문턱선량까지 도달시간(분)으로 보여주고 있는데, 이는 특정 장비로부터 전달되는 선량률을 아는 것이 중요함을 강조한다. 실제 선량률의 효과를 반영하지 않을 때는 '100분'과 같은 경험법칙을 사용해서는 안 된다.

3.2. 피부의 방사선병리학

3.2.1. 조기 영향

(26) 환자와 의료진이 피부에 방사선을 피폭함으로써 홍반과 피부가 붉어지는 현상이 과상적으로 일어날 수 있다. 상대적으로 넓은 부위에 2 Gy 이상의 선량을 피폭한 몇 시간 후에 조기 반응(일시적 조기 홍반)이 나타난다. 이것은 피부의 혈관 투수성 변화와 관련이 있다. 방사선에 피폭한 지 10일 정도 후에 주된 홍반 반응이 나타나는데 이는 기저세포 사멸에 이은 2차적 염증의 결과이다. 후발 피부홍반의 과상이 피폭한 지 8~10주 정도 후에 나타날 수도 있는데, 이것은 피부에 얇은 청조를 띠며 진피의 국소빈혈을 나타낸다.

(27) 방사선 피폭에 대한 피부 반응은 매우 많이 보고되어 있다. 세포 중에서 특히 진피의 기저세포들이 가장 위험한데, 피폭 후 이 세포들이 점점 소실되어 3~5주 이내에 피부 형성부전으로 발전될 수 있다. 진피 형성부전에 관련된 임상 변화의 심각도는 방사선량 크기에 달려있다. 형성부전은 임상적으로 건성박리(표피탈락)나 습성박리로 식별된다. 그림 2.5는 형성부전의 결과인 방사선피부염을 보이고 있다. 그림 2.1a에는 방사선에 피폭된 지 약 6~8주에 피부가 벗겨진 것을 보여주는데 고전적 습성박리이다. 증상 발현 시기는 환자 개인의 진피 교환시간에 달려있으나 대개 피폭 4~6주 정도이다.

(28) 습성박리의 치유는 세포증식과 생존 가능한 세포의 전파에 의존하는 과정인데, 높은 선량을 피폭한 경우에는 느리게 진행될 것이다. 이런 경우에는 점진적인 진피세포 손실이 있는데 2차적 궤양으로 불린다. 만약 감염이 발생하면 궤양은 크게 확대될 수 있다. 그림 2.1a에 피폭한 지 6~8주 지난 후 2차적 궤양의 징조를 보이고 있다. 방사선 피폭으로 인한 2차 궤양은 피부의 화상이나 절손상처에서 보듯이 피부수축과 섬유결체조직 형성(흉터)을 통해 천천히 치유된다.

(29) 습성박리가 수주 이내에 치유되면 진피 구조의 피해를 면할 수 있다. 그러나 후속적으로 피폭된 피부에 후발 염증과 세포살상 효과나 확률적 변화(암)로 발전할 수도 있다. 방사선 유발 진피의 형성부전과 거의 같은 방법으로 모근 매트릭스 세포의 증식을 방해하여 일시적으로 모 약화 또는 탈모를 초래할 수 있지만(그림 2.2) 결국에는 다시 모가 자란다. 하지만 영구탈모로 이어질 수도 있다 (Seiber와 Hopewell, 1990; Seiber 등, 1986). 이런 사례는 앞에서 설명한 바

있다. 진피 형성부전처럼 탈모 반응도 피폭 후 수 주 내에 발견된다.

(30) 심하고 지속적인 방사선 유발 변화를 피한다 하더라도 여러 후발 손상이 여전히 발생할 수도 있다. 피부에 염증이나 세포살상 영향 손상은 그 발현이 다양할 수 있다. 홍반의 늦은 단계는 확연한 어두운색이나 담자색의 국소빈혈로 식별된다. 이런 증상은 X선에 의한 소수의 큰 선량/분할을 포함하는 단일 선량 또는 분할된 선량을 조사한 실험 모델(피부가 사람 피부와 가장 가까운 돼지를 이용)에서도 잘 특성화 되고 있다(Archambeau 등, 1985; Hopewell과 van den Aardweg, 1988). 그림2.1b에서 보는 퀘사로 진행에 걸리는 잠복기는 9~16주 정도이다(Hopewell과 van den Aardweg, 1988; Archambeau 등, 1968; Barabanova와 Osanov, 1990). 분할 선량에 피폭(일정 부위 피부에 높은 누적선량을 초래하는)할 때에도 유사한 영향이 발생할 수 있어 절차가 반복되거나 여러 절차들을 겪게 되면 문제가 발생할 가능성이 있다.

3.2.2. 지발성 영향

(31) 지발성 피부 변화는 피폭 26주 정도부터 발생하는데 진피조직의 얇아짐, 모세혈관확장증과 지발 퀘사가 특징적이다. 진피의 얇아짐은 돼지 피부에서 잘 보고되어 있다(Hopewell 등, 1979; Hopewell 등, 1989). 임상적으로 이것은 피하경화(subcutaneous induration)로 알려져 있는데(Gauwerky와 Langheim, 1978), 피하 섬유증으로 잘못 인식되기도 했다. 경화와 모세혈관확장증은 Vano 등(1988)에 의해 보고된 한 사례의 특징으로, 2년 정도 후에 발생할 수 있다. 모세혈관확장증은 방사선치료 이후에 사람 피부에서 여러 사례가 보고되었는데 52주 이전에는 발견되지 않는다. 이때부터 최소 10년까지 점차 발생 사례나 증세가 증가한다. 모세혈관확장증의 진전 속도는 선량과 관계된다. 후발 퀘사는 외상이나 다른 요인에 의해 언제라도 발생가능하다.

3.3. 눈의 방사선병리학

3.3.1. 기전

(32) 전리방사선은 다양한 형태로 눈 조직에 손상을 가할 수 있다. 많은 영향들은 영양학적 변화에 따른 2차 영향으로 보이는데, 예를 들면 안구방수를 생성하는 맥관구조에 미친 1차 영향의 결과로 나타난다. 사람의 경우, 혈액-체액 방벽

의 내방사선이 상당히 커서 방벽 파손을 조장하기 위해서는 단일 선량 5 Gy 이상 또는 분할선량 20 Gy 이상의 X선 선량이 필요하다(Ellsworth, 1969; Merriam 등, 1972). 방벽이 손상 되었을 때는 안구 내부 환경의 변화가 수정체, 각막, 안압에 부정적 영향을 미칠 수 있다. 30~40 Gy 정도 선량을 3~4일에 피폭하였을 때 나타나는 것처럼 이러한 현상이 계속되면 영구 실명할 수 있다.

(33) 수정체에 직접적인 영향을 제외하면 맥관구조에 미친 영향이 눈에 미치는 방사선 영향을 조정한다. 많은 경우 눈의 방사선병리는 상당히 많은 양의 단일 선량이나 분할 선량이 필요하고, 상당히 긴 시간 이후에 확실한 변화가 일어난다. 뚜렷한 특이현상은 수정체가 불투명지면서 생기는 백내장이다. 눈의 세 가지 주요 조직(각막, 수정체, 망막)이 주목을 받지만 굴절 매질이나 감광 조직 이외의 계통에서 손상도 영구 실명을 초래할 수 있음을 인식하는 것이 중요하다. 부속기 분비조직 *adnexal secretory tissue*의 손상은 눈물막에 영향을 미치고, 결국 각막의 각질화나 혼탁을 초래할 수 있다.

3.3.2. 염증과 세포살상 영향

수정체

(34) 비록 시력에 큰 영향이 있어 시력상실이나 외과적 개입을 요구하는 수준은 아니더라도, 65세 이상인 사람의 90%는 어느 정도 수정체가 탁한 증세를 보인다. 수정체가 투명도를 잃는 것을 백내장으로 보지만, 여기서는 시각이 임상적으로 유의하게 영향을 받는 것에만 한정한다.

(35) 모든 사람들은 충분히 나이가 들면 수정체가 혼탁해질 것이 거의 틀림없다(Cinotti와 Patti, 1968). 적어도 50%, 많게는 70% 가량의 혼탁은 피질 변화 즉, 수정체 표층 물질의 변화와 관련되어 있다. 나머지는 핵의 문제로 즉, 수정체의 더 깊은 부분에서 일어난 변화를 나타낸다. 수정체 핵에 의한 백내장은 단백질이나 수정체 심부 모세관 계통의 변화에 기인하며 대체로 광화학적 영향을 반영한다. 그러나 피질 변화는 종종 변형된 세포조직과 관련되며 지속되는 조직의 정상적 성장과 분화에 방해를 받기 때문에 일어난다(Rothstein 등, 1982; Worgul 등, 1989). 이러한 변화는 전리방사선이나 비전리방사선과 같은 다양한 물리적 작용자에 누적 노출됨으로써 발생할 수 있다.

(36) 수정체 고유 생물학은 수정체의 주된 병리 즉, 백내장의 바탕이 된다. 수정

체의 유일한 기능은 들어온 빛을 망막으로 굴절시키는 것이다. 기관이나 생리의 고장은 혼탁화로 이어진다. 수명 동안 수정체는 성장하기 때문에 성장이나 분화 과정에서 잘못될 기회가 상당히 많은데, 제한된 공간 내에 세포들이 갇혀있어 이런 잘못들이 복합화 된다. 또, 수정체는 상당히 넓은 세포 통신체계에 의존하고 있어서 피질 또는 표피 조직이 잘못됨으로써 결국에 전체 조직이 고장을 일으킬 수 있다. 이것이 수정체 상피에 1차 영향을 주는 많은 물리적 작용자(전리방사선 포함)에 의해 궁극적 완전 혼탁이 초래되는 근거로 보인다.

(37) 치료방사선에서 백내장 발생 데이터를 이용하면, 30년간 직업상피폭을 받는 것으로 보아, 눈에 직업상피폭이 최대로 0.15 Gy/y이어야 하는 것으로 나타났다(ICRP, 1991; NCRP, 1993). 역사적으로 방사선에 대한 수정체의 반응은 염증과 세포살상 영향이며 문턱선량이 있고 선량과 관계가 있을 것으로 생각해 왔다. 연구결과를 단일 선량인 경우 백내장 문턱선량으로 2 Gy를, 완전 백내장으로 진행되기 위해 필요한 선량으로는 5 Gy를 제안한다.²⁾ 그러나 시력을 잃지 않는 정도의 수정체 혼탁은 0.2 Gy 정도로 낮은 선량에서도 발생할 수 있다는 최근 연구의 제안도 있다(Klein 등, 1993).

암

(38) 중재방사선 절차에 직접 관계된 것으로 간주되는 피부암에 대한 구체적 보고는 없으나 흑색종은 전리방사선과는 관련이 없다는 것으로 간주되고 있다. 그러나 방사선촬영이나 치료방사선 피폭 탓으로 볼 수 있는 기저세포와 비늘세포의 암에 대해 잘 정리된 사례가 있다(Shore, 1990).

(39) 눈 조직의 방사선 피폭에 따른 확률적 영향은 잘 알려져 있지 않다. 눈꺼풀의 경우 반응이 다른 부위의 피부와 다를 것으로 기대할 이유는 없으며, 눈에서 방사선유발 암종에 대한 증거는 거의 없다(Leff와 Henkind, 1983; Roarty 등, 1988). 눈 조직에서 방사선 발암 가능성은 지극히 낮으며, 따라서 눈의 불구에서 주된 관심사는 부속기 피부adnexal skin의 염증이나 세포살상 영향을 통한 변화와 백내장 유발에 집중된다.

2) <역주> 최근에는 약 1 Gy 수준에서도 백내장이 발생할 수 있다는 보고가 있다. ICRP는 이를 추적하기 위한 작업반을 구성할 것이다.

3.4. 기타 조직³⁾

(40) 중재방사선 의사에게 특히 관심을 갖는 것이 갑상선 보호인데 20세 이상에서 피폭한 사람에게서는 밝혀진 위험은 거의 없다.

(41) 피폭한 다른 장기에서 장차 암이 발생할 확률이 증가하는데, 특히 이들 장기에는 유방, 갑상선, 골수가 주목되고 아동의 경우는 더욱 그렇다.

3.5. 참고문헌

- Archambeau, J.O., Ines, A., Fajardo, L.F., 1985. Correlation of the dermal microvasculature with the epidermal and endothelial population changes produced by single x-rays fractions of 1647, 2231 and 2619 rad in swine. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 11, 1639-646.
- Archambeau, J.O., Mathieu, G.R., Brenneis, H.J. et al., 1968. The response of the skin of swine to increasing single exposures of 250 kVp x rays. *Radiat. Res.* 36, 299-326.
- Barabanova, A., Osanov, D.P., 1990. The dependence of skin lesions on the depth-dose distribution of birradiation of people in the Chernobyl nuclear power plant accident. *Int. J. Radiat. Biol.* 57, 775-82.
- Cinotti, A.A., Patti, J.C., 1968. Lens abnormalities in an aging population of non-glaucomatous patients. *Amer. J. Ophthalm.* 65, 25-2.
- Ellsworth, R.M., 1969. The practical management of retinoblastoma. *Trans. Amer. ophthalm. Soc.* 67,462-34.
- Gauwerky, F.W., Langheim, F. Der zeitfaktor bei der strahleninduzierten subkutanen fibrose, *Strahlentherapie* 154, 278-84.
- Hopewell, J.W., 1986. Mechanisms of the actions of radiation on skin and underlying tissues. *Brit. J. Radiol.* 19, 39-51.
- Hopewell, J.W., van den Aardweg, G.J.M.J., 1988. Radiobiological studies with pig skin. *Int. J. Radiat.Oncol. Biol. Phys.* 14, 1047-1050.
- Hopewell, J.W., Foster, J.L., Young, C.M.A., et al., 1979. Late radiation damage to pig skin: Effects of overall treatment time and fraction number. *Radiology* 130, 783-788.
- Hopewell, J.W., Calvo, W., Reinhold, H.S. 1989. Radiation damage to late-reacting normal tissues. In: Steel, G.G., Adams, G.E., Horwich, A. (Eds.), *Radiological Basis of Radiotherapy*. Elsevier Scientific Publications, Amsterdam, the Netherlands.
- ICRP (1991), 1990. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60, *Annals of the ICRP* 21 (1-3).

3) <역주> 원문은 절이 분리되어 있지 않으나 논의 영향이 아니므로 오해를 피하기 위해 분리했다.

- Klein, B., Klein, R., Linton, K. et al., 1993. Diagnostic x-ray exposure and lens opacities: the Beaver Dam Eye Study. *Am. J. Pub. Health* 83, 588-590.
- Leff, S.R., Henkind, P., 1983. Rhabdomyosarcoma and late malignant melanoma of the orbit. *Ophthalmology* 90, 1258-1260.
- Merriam, G.R., Szechter, A., Focht, E.F., 1972. The effects of ionizing radiation on the eye. *Frontiers Radiat. Ther. Oncol.* 6, 345-385.
- NCRP, 1993. *Limitation of Exposure to Ionizing Radiation*. NCRP Report No. 116. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD, USA.
- Roarty, J.D., McLean, I.W., Zimmerman, L.E., 1988. Incidence of second neoplasms in patients with bilateral retinoblastoma. *Ophthalmology* 95, 1583-1587.
- Ron, E., Lubin, J.H., Shore, R.E. et al., 1995. Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Rad Res.* 141, 259-277.
- Rothstein, H., Worgul, B., Weinsieder, A., 1982). Regulation of lens morphogenesis and cataract pathogenesis by pituitary-dependent, insulin-like mitogens. In: Sheffield, J.B., Hilfer, S.R. (Eds.), *Cellular Communication During Ocular Developments*. Springer-Verlag, New York, NY, USA.
- Seiber, V.K., Hopewell, J.W., 1990. Radiation-induced temporary partial epilation in the pig: a biological indicator of radiation dose and dose distribution to the skin. *Radiat. Prot. Dosim.* 30, 117-120.
- Seiber, V.K., Wells, J., Rezvani, M., et al., 1986. Radiation induced damage to the cells of pig hairs: a biological indicator of radiation dose and dose distribution in skin. *Radiat. Prot. Dosim.* 16, 301-305.
- Shore, R.E., 1990. Overview of radiation-induced skin cancers in humans. *Int. J. Radiat. Biol.* 57, 809-827.
- Turesson, I., Notter, G., 1986. The predictive value of skin telangiectasia for late radiation effects in different normal tissues. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 12, 603-609.
- Vano, E., Arranz, L., Sastre, J.M. et al., 1998. Dosimetric and radiation protection considerations based on some cases of patient skin injuries in interventional cardiology. *Brit. J. Radiol.* 71, 510-516.
- Wagner, L.K., Archer, B.R., 1998. *Minimising Risks from Fluoroscopic X Rays. A Credentialing Program*. 2nd Edition. R.M. Partnership, 3 E Wedgemere Circle, The Woodlands, TX, USA.
- Worgul, B.V., Merriam, G.R., Medvedovsky, C., 1989. Cortical cataract development-the expression of primary damage to the lens epithelium. *Lens Eye Tox. Res.* 6, 557-571.

4. 선량관리

요 점

- 가장 염려되는 환자선량은 중재방사선 절차 동안에 최고 선량을 받는 피부 부위의 흡수선량이다.

심각한 방사선으로 인한 피부상해는 동일 피부 부위에 피부 영향을 끼칠 수 있는 문턱선량을 초과하는 흡수선량을 초래하는 장시간 방사선 조사에 의해 일어난다. 이러한 심각한 피부상해를 피하고 감시하기 위해서, 의료시설 관리자와 중재방사선 의사들은 아래에 설명된 기본 단계들을 채택해야 한다. 부록 B1은 부록A에 열거한 가장 일반적인 절차로부터 발생하는 환자 피부선량의 예를 제공한다.

- 모든 의료시설은 각 중재방사선 절차 유형에 대한 현장 임상 프로토콜에 방사선촬영 영상(투영, 이미지 수, 기술인자), 투시 시간, 공기커마율, 누적 피부선량, 그리고 중재방사선 절차의 여러 부분들과 관련된 피부 부위에 관한 사항을 포함해야 한다.

이러한 정보는 자격 있는 의학물리사나 전문가의 도움을 받아 얻어야 하며, 시설에 설치된 투시기기에 맞는 것이어야 한다. 각 프로토콜은 시설에서 수행되는 중재방사선 절차의 전형적 수행을 위한 것이겠지만 실제 절차들은 구체적인 사례의 복잡성으로 인해 상당히 다를 수 있음을 염두에 두어야 한다. 프로토콜의 설명은 중재방사선 의사에게 환자 피부선량에 대한 기본준위를 제공하여, 실제 절차에서 조사조건이나 발생하는 피부선량을 비교할 수 있도록 해야 한다. 임상 프로토콜에서 유용한 설명의 몇 가지 예가 부록C에 주어져 있다.

- 중재방사선 의사는 실제 절차가 진행되는 동안 발생하는 ‘환자 피부선량’의 수준에 대해 운영자 위치에 전시되는 정보를 활용하도록 훈련을 받아야 한다.

전시되는 정보는 명목상의 임상 프로토콜과 피부 상해의 문턱 준위와 비교하여 쉽게 해석될 수 있어야 한다. 가장 유용한 전시정보는 절차 중 현재까지 누적된 공기커마(mGy 또는 Gy 단위)이다. 이 전시 선량은 환자 피부 표면으로 가해지는 기준점에 대한 것이어야 한다. 이 값은 모든 입사 피부 부위에 대해 누적되므로 일반적으로 피부의 최대 누적선량을 과대평가하게 될 것이다. 추가로 유용한 전시정보는 (a) 위 기준점에서 투시 분할마다 공기커마율(mGy/min 단위), (b) 총 투시시간(분 단위)이다. 그러한 정보들은 현장 임상 프로토콜과

손쉬운 비교를 가능하게 할 것이다.

- 중재방사선 시술자들은 정규 환경에서 피부의 누적 흡수선량을 관리하는 실용 기술과, 절차가 예기치 않게 연장되거나 심각한 방사선 유발 피부 상해의 문턱에 접근할 경우에 대한 부가적인 기술 훈련을 받아야 한다.

기술은 ‘정규 절차에서 환자 피부 흡수선량 관리’와 ‘예기치 않게 연장된 절차에서 환자의 피부상해 방지’와 같은 제목으로 임상 프로토콜에 나타나야 한다.

- 실제 절차 과정에서 피부의 최대 누적 흡수선량이 다음의 값들에 접근하거나 초과하는 것으로 나타나면, 해당 피부 부위 위치와 범위를 환자기록에 올려야 한다: 반복 가능한 절차에서는 1 Gy; 임의의 절차에서는 3 Gy.

표3.1은 방사선 유발 피부 영향들에 대한 문턱 흡수선량을 제시한다.

- 피부 내 최대 선량을 결정하는 것은 어려우므로 종종 개략적으로 평가한다.

많은 현대 투시장치들이 절차 과정동안 기술 인자를 계속 변화시킨다. 기기는 중재방사선 시술자들이 피부선량 크기를 평가하는 데 도움이 되는 장치(예를 들어 누적 공기커마 지시)와 함께 구입되어야 한다. 만약 투시시간만 알 수 있다면, 중재방사선 의사는 이것이 환자선량에 대한 매우 개략적인 지침일 뿐이라는 점을 알아야 한다. 신중한 가정은 투시시간과 기계 최대출력의 곱이 환자가 받는 최대 피부선량을 나타낼 수 있지만, 절차 과정 동안 X선장 위치를 고려하는 것도 필요하다.

- 피부의 최대 누적 흡수선량이 위의 값들에 접근하거나 초과한 때는, 기관은 환자에게 심각한 피부상해 가능성을 겨누어 환자 후속추적 절차를 갖춰야 한다.

특히, 피부선량이 3 Gy 근처 혹은 이상인 경우, 환자에게 어떠한 조짐이나 징후를 발견할 수 있는지, 또 환자가 어떠한 조치를 취해야 하는지에 대해 알려야 한다.

- 그림4.1은 이러한 목적을 달성하기 위한 실용적 지침을 보여준다.

실용적 조치

환자선량을 관리하기 위한 조치(대개 의료진의 선량관리에도 효과적임)

- 빔 가동시간을 절대적 최소에 유지하라 - 환자와 의료진의 선량관리를 위한 금과옥조.
- 체격이 큰 환자의 경우 선량률이 더 높아지고 선량이 더 빨리 누적됨을 명심하라.
- 영상품질과 낮은 환자선량 사이의 적절한 절충을 위해 관전압(kVp)을 올려 관전류를 가능하면 낮게 유지하라.
- X선관을 환자로부터 최대 거리에 두어라.
- 영상증폭관은 가능하면 환자에게 근접시켜라.
- 기하학적 확대를 남용하지 마라.
- 환자가 작거나 영상증폭관을 근접시키지 못할 때에는 그리드를 제거하라.
- 항상 관심 영역에 맞춰 빔을 집속하라.
- 절차가 예기치 않게 길어지면, 환자 정위의 대안, X선장의 변경 또는 빔 각도 변경 등 다른 방안을 고려하여 동일한 부위 피부가 직접 X선장에 계속 놓이지 않게 하라.
- 많은 기계에서, 선량률은 중재방사선 절차 동안에도 변한다. 투시시간은 방사선 상해가 일어날 것인지에 대한 개략적 지시일 뿐이다. 빔 위치와 각도, 보통 혹은 높은 선량률, 환자와 X선관 거리와 영상 획득 수와 같은 절차 특성과 환자 크기가 같은 투시시간에서도 환자의 최대 피부선량에서 10배 차이를 낼 수 있다.

의료진 선량관리를 위한 조치

- 납치마를 착용하고, 차폐를 이용하고, 자신의 선량을 감시하고, 최소 선량을 위해 자신과 기기를 어디에 위치시킬 것인지 알아라.
- 빔이 수평 또는 수평에 가까울 때는 시술자는 영상증폭관 쪽에 서야 한다(선량 감소를 위해).
- 빔이 연직 또는 연직에 가까울 때는 X선관을 환자 아래에 두어라.

그림 4.1. 실용적인 조치. Wagner와 Archer(1998)로부터 인용됨. 이 문헌은 중재방사선 의사의 실질적인 선량관리 기술 훈련을 위한 우수한 자료이다. 이 문헌으로부터 'X선 형광투시로부터 위험을 최소화하기 위한 십계명' 목록을 포함함.

4.1. 환자선량에 영향을 미치는 인자

(42) 다양한 인자가 환자선량에 영향을 미칠 수 있는데, 절차상 인자와 관련 장치 인자로 구분할 수 있다. 몇몇 선량관리 수단은 중재방사선의학을 위한 기기설계 결과인 반면, 선량관리 절차상의 방법들은 어떻게 중재방사선 절차가 수행되는지에 관련된다. 환자선량에 영향력을 미칠 수 있는 인자 목록이 표4.1에 주어져 있다. 대다수 인자들은 아래에서 논의된다.

표4.1. 중재방사선의학에서 환자 피부선량을 관리하기 위한 수단. WHO(2000), UNSCEAR (1988), NCRP (1989)로부터 인용.

인자	효과	감축인자
획득 영상 수 제한	선량을 낮춤	다양함
투시시간과 선량률 제한	선량을 낮춤	다양함
관전압증가/X선 스펙트럼	선량과 대비를 줄임	1.5
관 필터 증가	선량과 대비를 줄임	1.7
그리드/공기층 사용	선량을 높임, 영상품질 개선	...
환자 이후 감쇠 최소화	탄소섬유가 선량을 낮춤	2까지
펄스 투시 사용/최종영상 유지	투시시간 단축, 선량을 낮춤	2

a. 인용된 선량감축은 각 인자에 대한 것임. 만약 여러 인자가 적용되면 총 선량감축은 반드시 가산적은 아니다. 그러나 일부 인자들의 조합은 승산 효과를 낼 수 있다(Wagner와 Archer, 2000).

(43) 환자의 의료상피폭에 대해서는 항상 선량한도가 적용되지 않지만, 구체적 절차에 대한 지침준위는 적용된다. 중재방사선의학에서 높은 영상품질을 필요로 한다면, 영상화 성능에 대한 최소 표준과 주어진 중재방사선 절차를 위한 관련 선량 요건을 수립할 필요가 있다. 최근에 개최된 ‘중재방사선의학에서 효율과 방사선 안전’에 관한 세계보건기구(WHO) 워크숍에서 중재방사선의학을 위한 기기 구매와 관련하여 영상품질 표준의 문제를 숙고하게 되었다(WHO-ISH, 1997; Faulkner, 1997). 워크숍은 영상화 성능을 위한 과학적 근거를 수립하기 위해서는 더 많은 작업이 필요하다고 결론지었다.

4.1.1. 절차적 방법

(44) 절차적 방법은 검사가 어떻게 수행되어야 하는지와 어떠한 장비를 사용해야 하는지와 관련된다. 예를 들어, 절차가 복잡해지거나 높은 피부선량 위험이

있을 때는 중재방사선 시술자는 적절한 기술의 선택을 고려해야만 한다(즉, 다른 빔 입사, 가능한 한 방사선장 집속, 낮은 선량률 모드 사용, 높은 여과법, 일부현대 시스템이라면 펄스 빔 사용 등). 일부 X선 시스템에서는 확대하면 피부선량률이 증가한다. 큰 환자가 더 많은 선량을 받으므로 환자 크기도 고려해야 한다.

(45) 이동형 C-arm 투시기는 환자들에게 특별한 문제를 부과한다. C-arm 투시기는 종종 X선관이 환자의 피부에 매우 가깝게 위치하게 되는데, 이것은 피해야만 한다. 운영자는 X선관이 환자로부터 최대한 멀리 떨어져 있는지, 그리고 영상증폭관은 가능한 한 가깝게 있는지를 확인해야 한다.

4.1.2. 장비 관점

(46) 선량 관리수단은 처음부터 장비 설계에 반영될 수 있다. 고유하게 중재방사선의학을 위해 설계된 장비가 사용되어야 한다는 점이 중요하다. 낮은 선량을 기대하게 하는 장비설계 예로는 펄스 형광투시(Wagner와 Archer, 2000), 높은 빔 여과, 인간공학적으로 설계된 빔 집속, 단애필터(edge filter) 가용성, 탄소섬유 부품, 최종영상 고정 등이 있다.

(47) 중재방사선 의사가 환자의 피부 흡수선량에 대한 실용 지식을 가지는 것은 다음을 위해서 특히 중요하다.

- (a) 불필요한 높은 피부선량을 피함.
- (b) 소정 문턱선량 준위에 접근하거나 초과할 때 피부선량을 평가하고 기록함.
- (c) 환자의 후속추적에 심각한 방사선 유발 피부영향 감시를 언제 포함할 것인지를 결정함.

(48) 그러므로 방사선 유발 피부영향에 대한 문턱준위와 연계되는 선량처럼 즉각적 의미가 있는 선량을 중재방사선 시술자에게 전시함이 매우 유용하다. 가장 유용한 정보는 절차 과정동안 현재까지 누적된 공기커마(mGy 또는 Gy 단위)이다. 해당 중재방사선 절차에 대한 현장 임상 프로토콜의 상응하는 값과 비교를 위해 추가로 유용한 정보는 투시 절차 분할 당 공기 커마율(mGy/min 단위)과 총 투시시간(분 단위)이다.

(49) 누적 선량면적곱도 운영자에게 하나의 전시로서 제공할 수 있다. 이 양은 환자에 입사되는 선량과 X선장 면적의 곱을 모든 중재방사선 절차 분할에 대해 합한 양으로서, 환자나 의료진의 확률적 영향에 대한 선량관리에 도움이 될 수

있다. 그러나 이 양은 피부에 최대 누적 흡수선량을 평가하는 실용적 방법은 아니며 결정적 영향을 예견하는 데에 유용하지도 않다.

4.1.3. 교육훈련

(50) 중재방사선 절차는 복잡하고 도전을 요구한다. 의료센터 사이에 중재방사선 절차는 근소하게 다르지만, 매우 시술자 의존적인 경향을 보인다. 상황이 이러하므로 절차를 수행하는 개인이 임상기술은 물론 방사선방호에 대한 지식 모두를 적절하게 훈련받는 것이 특별히 중요하다. 진단방사선의학에서 시행되는 방사선 방호에 추가하여 2단계의 구체적 훈련이 바람직하다. 의료센터에 새로운 중재방사선 의학을 위한 X선 시스템이나 새로운 기술이 도입될 때에는 추가로 구체적 훈련을 계획해야 한다. 중재방사선의학 시설을 위한 품질보증 프로그램은 방사선 방호 훈련과 선량관리 기술의 평가를 포함해야 한다.

4.1.4. 중재방사선의학 전용 시스템

(51) 중재방사선학 절차는 X선 시스템의 영상 능력에 큰 요구사항을 부과한다. 혈관 내 작은 카테터나 대비 물질 퇴조를 관찰하거나, 색전 물질 영상화는 각각 차례로 어려운 영상화 업무가 된다. 복잡한 중재방사선 절차가 이행되려면 X선 장비가 그 영상화 업무를 수행할 능력이 있어야 한다. 이것은 부분적으로 영상품질에 관련된 부분일 뿐만 아니라, X선 시스템의 인간공학에도 관련된다. 예를 들어, 심장학에서 작은 직경의 영상증폭관이 사용되는데, 이는 그것으로 수행할 절차의 임상적 요구를 충족시키는 중재방사선의학 전용 시스템 사용을 함축한다. 중재방사선학을 위한 장비는 다양한 보호 용구를 포함한 완전한 시스템이어야 한다. 국제전자기술위원회(IEC, 2000)는 중재방사선의학 시스템을 위한 하나의 안전표준을 발행했다.

(52) 인간공학적 요인들도 환자선량에 영향을 미친다. 예를 들어, 영상의 손쉬운 저장과 검색, 투시 시간, 획득된 영상, 일련의 영상에서 영상 빈도의 변화, 환자선량 변수의 전산화 기록, 뿐만 아니라 상이한 투시 및 영상 획득 모드의 가용성이 선량관리에 도움을 줄 것이다.

4.1.5. 관리유지와 QA 프로그램

(53) 중재방사선 기기에 부과된 정교한 임상 요구는, 이러한 요구를 충족시키는 기기를 명시함도 중요하지만 기기가 미래에도 그러함이 중요하다는 것을 의미한다. 이는 포괄적 유지보수 프로그램의 지원을 받아 시스템 성능을 감시하는 강력한 품질보증이 있어야 함을 의미한다. 양자의 중요성은 기기성능 변화가 환자선량에 미치는 영향으로 평가되어 다른 곳에 보고된 바 있다.(Gill, 1992; Vano 등, 1998a).

(54) 포괄적 품질보증 프로그램은 심각한 방사선 유발 상해를 피하는 목표 아래 환자선량 관리를 위한 정책에 필수적인 것이다. 품질보증에 관한 많은 문헌들이 있으며 상세하고 구체적 절차들을 기술하고 있다(IPEM, 1996; Borrás, 1997). 하나의 과피폭 사건(Gill, 1992)이 품질보증 부실, 특히 영상증폭관 선량률과 프레임 당 선량 측정의 부실에 연계되었다. 이러한 측정은 영상품질 평가에 의해 보완되어야 한다. 병원의 상급 관리자는 품질보증 프로그램이 정책의 일부라는 것과 그 이행을 확실하게 함으로써 선량관리에서 한 역할을 담당한다.

4.1.6. 의학물리 전문가

(55) 중재방사선의학을 수행하는 의료센터는 바람직하게는 의학물리사 또는 적어도 방사선사나 방사선방호책임자RSO가 제공하는 방사선방호 조언에 접근할 수 있어야 한다. 환자선량 계측, 장비 선택, 그리고 품질보증에 관한 조언이 가용해야 한다.

4.1.7. 실용적 조언

(56) 위에서 언급한 여러 선량관리 수단의 응용은 환자선량을 상당히 낮출 것이다. 핵심 인자는 검사에 필요한 최소 영상성능을 결정하는 것이다. 최적의 펄스 투시 주파수 선택이나 영상 당 펄스 선량이 항상 명백하지는 않으므로 이러한 결정은 복잡한 고려가 요구된다. 따라서 결정은 종종 운영자의 선호, 경험, 영상 기대치 등에 의존한다.

(57) 같은 절차에 대한 명목상 임상 프로토콜은 의료센터 사이에서 상당히 다르다. 임상 프로토콜에서 작은 변화마저도 선량 준위에 극적인 변화를 가져올 수

있는데, 이러한 프로토콜의 예를 들면 펄스 반복 빈도의 선택과 말초 혈관조영술에서 영상 당 선량이다(Gill, 1992; Vetter 등, 1998).

(58) 품질보증은 적절한 선량을 일관되게 유지하기 위해 불가결한 것이다. 영상 당 선량과 영상품질 사이에 연계가 있다면, 양 쪽 모두가 품질보증 프로그램에서 주기적으로 평가되는 것이 대단히 중요하다. 이점은 어떤 형태로든 자동제어 기능이 있는 중재방사선학 기기—실질적으로 모든 기기가 해당—의 어떠한 품목에 대해서도 특히 해당된다. 영상 당 선량이 증가함에 따른 성능저하를 보상하는 자동화 시스템이 전망되고 있다(Gill, 1992). 결과적으로 영상 당 선량, 선량률 또는 영상품질의 간단한 점검은 중재방사선학 기기를 위한 일상적인 시험이 되어야 한다. 투시 기기를 위한 품질보증 프로그램에 대한 조언은 출판된 문헌에서 찾을 수 있다(IPEM, 1996; Brras, 1997).

4.2. 의료진 선량에 영향을 미치는 인자

4.2.1. 운영 절차

(59) 중재방사선학 절차는 복잡하며 위중한 환자들에게 수행되는 경향이 있다. 따라서 환자 개인적 임상 요구에 따르기 위해 중재방사선학 단위에 많은 의료진이 필요하게 된다. 그러므로 중재방사선학 절차 동안에 더욱 많은 의료인이 현장에 있음은 물론이고, 그들이 환자 가까이 선량률과 산란 방사선이 높은 위치에 있는 경향이 있다(Faulkner, 1992). 환자로 접근에 방해되기 때문에 납차폐 스크린을 사용하기 어렵다는 점에서, 중재방사선학 환자의 임상적 필요는 전용 기기설계를 요구한다. 어떤 기관에서는 상부 X선관/침상하부 영상증폭관 방식의 투시장비 배치가 사용되는데, 이러한 배치는 환자 부근에서 높은 선량률을 형성하고 결과적으로 의료진 선량도 높아진다(Marshall과 Faulkner, 1992; Vano 등, 1998b). 그러한 구성은 최적 중재방사선 절차에 미달하므로 피해야 한다.

(60) 본질적으로 높은 산란 선량률 문제는 일부 절차에서 긴 투시시간과 결합하여 더욱 어려움을 초래한다. 이러한 결합의 영향으로 중재방사선 시술자가 받는 선량이 일반 방사선촬영 종사자와 같은 다른 직업상 피폭 그룹보다 더 높은 경향이 있다. 표 4.2는 직업상 피폭하는 개인의 눈과 피부에 대해 ICRP가 권고한 연간 선량한도를 요약한 것이다(ICRP, 1991). 이 선량한도와 중재방사선 절차를 수행하는 의료진이 받는 전형적 선량의 평가치는 최대 업무부하에 대한 지표를

제공한다. 여러 절차에서 의료진이 받는 전형적인 선량을 부록B2에 주었다.

(61) 일반적으로 의료진 선량은 환자선량과 상관성이 있어서 환자선량이 높아지면 의료진 선량도 높아진다. 의료진 선량은 장비 설계, 기술 상태, 임상 프로토콜, 그리고 어느 정도는 임상 경험에 의해 영향을 받는다. 모든 방사선촬영 절차와 마찬가지로, 중재방사선의학에 종사하는 의료진은 적절한 물리적 보호 장구를 착용해야 한다. 여기에는 납치마가 포함되는데, 납치마는 착용자 어깨에 그 무게를 안배하거나 치마가 골반에 걸리도록 함으로써 모든 무게가 척추에 걸리지 않도록 잘 설계되고 맞춤으로 되어야 한다. 0.35 mm 납에 등가한 납치마는 착용자를 상당히 보호한다는 증거가 있다(Marshall과 Faulkner, 1995). 더 많은 수의 방사선에 민감한 장기들을 차폐하는 것이 일정 장기들을 더 많이 차폐하는 것보다 낫다. 그러므로 갑상선 차폐의 착용은 중재방사선 종사자에게 어느 정도 부가적인 보호(0.35mm의 납치마와 같이 착용할 때 1.5~3배; Marshall과Faulkner, 1995)를 제공할 것이다. 피폭에 대한 조언을 제공할 의학물리 전문가나 유사한 전문가가 있어야 한다.

표 4.2. 권고된 직업상피폭 연간 선량한도(ICRP, 1991)

신체 부위	선량한도(mGy)
눈의 수정체	150
피부	500
손과 발	500

(62) 광변색photochromic 선글라스나 납 함량이 높은 안경 또한 착용자에게 어느 정도로 눈 보호를 제공한다(Marshall 등, 1992). (좋은 기술을 보유한 바쁜 중재방사선 시술자가 백내장을 유발할 수 있는 눈 흡수선량을 받아서는 안 된다.) 만일 기기와 장비가 열악하고, 중재방사선 시술자의 눈 선량이 심각한 방사선 유발 영향에 대한 한도에 가깝다면, 이러한 장구들이 특히 중요하게 된다(표3.1 참조). 납고무 장갑이나 기타 방호 장갑은 어느 정도 손을 보호한다(그러한 장갑은 완벽한 보호를 제공하지는 않으며, 그것을 착용했다고 1차 X선 빔에 손을 넣는 것을 용서하지는 않는다). 그러나 많은 중재방사선 시술자들은 이러한 장갑이 둔하고, 일부 절차에서 결정적으로 중요한 촉각을 훼손함을 알게 되었다. 손과 눈에 대한 최선의 방호방법은 1차빔 특히 감쇠되지 않은 빔(즉, 환자 입사위치)으로부터 확실하게 피하는 것이다.

(63) 장비 제작사도 중재방사선을 위한 기기 부착물들과 부가적 방호장구를 공급할 것이다. 여기에는 천장에 걸리는 납 아크릴 투명 스크린, X선 장착대에 부착하는 침상 하부 차폐, 그리고 이동형 개인 차폐체 등이 포함된다. 이러한 장구들은 대개 개인에게 상당한 방호를 제공하지만, 번거롭거나 사용하기 어려울 수 있다. 제작사는 더 인간공학적이고 실용적인 방호장구를 개발할 필요가 있다.

(64) 의료진의 선량을 감소시키는 상대적으로 단순한 방법은 의료진의 위치처럼 운영 인자들에 의한 것이다. 환자는 산란 방사선 선원이다. 산란 방사선량 또는 높은 선량률을 줄이기 위해서는 가능한 한 환자로부터 멀리 서 있는 것이 중요하다(부록D 참조). 방에서 환자에 대한 상대적 위치가 의료진 선량에 직접 영향을 미친다. 선량률은 환자로부터 거리에 따라 감소한다(부록D 참조). 조사야 크기나 관전압/빔 선질을 증가시키는 것은 의료진 선량을 증가시킬 것이다.

(65) 이동형 C-arm 투시기는 의료진에게 특별한 문제점을 내포한다. 빔이 연직에 가까운 방향일 때는 X선관을 환자 아래에 놓아야 한다. 환자 상부에 X선관을 두면 환자에 의한 후방산란이 의료진 선량을 증가시킨다. 만일 X선관이 수평에 가깝다면 시술자는 영상증폭관 쪽에 서야 한다. X선관 옆에 서면 환자로부터 후방산란으로 선량이 증가된다.

(66) 중재방사선의학에서 높은 직업상피폭은 의료진에 대해 확고하고 적절한 감시 대책을 필요로 한다. 납치마 아래에 패용한 하나의 선량계가 대부분의 경우에 무난한 유효선량 평가치를 제공한다. 납치마 위 목깃 부분에 부가적인 선량계를 패용하면 머리(눈) 선량에 대한 지시를 제공할 것이다. 나아가 두 선량계 기록을 결합하여 유효선량 평가를 개선하는 것도 가능하다(NCRP, 1995; Faulkner와 Marshall, 1993). 결과적으로, 중재방사선 부서 의료진은 두 선량계를 패용하는 정책을 발전시킬 것을 권고한다. 손 선량은 불화리튬LiF TL선량계로 감시할 수 있다. 부서의 선량 추이를 분석하고, 높은 선량과 예외적인 값에 대해서는 조사해야 한다.

(67) 의료진은 해당되면 적합하고 이용 가능한 방호장구를 항상 착용하고 사용해야 한다(부록D 참조). 시술대 옆에서는 산란 선량률이 높을 수 있다(부록D 참조). 그러므로 의료진은 어디에 위치해야 하는지 알고 가능한 한 환자(산란 방사선 선원)로부터 멀리 위치하도록 조언을 받는 것이 중요하다.

4.3. 조달

(68) 조달은 기기 사양의 작성, 구매 및 취역commissioning 과정을 의미하는 것으로 사용된 용어이다. 중재방사선의학을 위한 기기 조달은 선량관리 절차에서 중대한 부분이다. 부적절하거나 불충분한 기기의 조달은 피해야 한다. 더욱이 중재방사선을 위한 X선 기기는 비싸서 의료기관에서 상당한 자본 투자 중 하나이다. 의료기관 예산의 재정적 압력이 증가하지만, 선량이 임상 요건을 충족하지 못하고 높은 환자/의료진 선량을 초래하는 열악한 장비가 재정적 제약 때문에 취득되지 않게 함은 지극히 중요하다. 결과적으로, 중재방사선을 위한 기기 사양 작성, 구매, 그리고 취역은 선량관리 전략에 중대한 것들이다. 기기 사양은 방사선 방호 부대물과 바람직한 환자선량 감시 기능을 포함해야 한다. 조달을 위한 점검표가 부록E에 제공된다.

4.3.1. 사양

(69) 과정의 시작은 기기 사양과 임상적 명분을 기안하는 것이다. 중재방사선 기기를 위한 사양을 구성할 때, 기기 사용계획을 명심하여 기기 요건에 대한 비관적인 검토와 분석이 필요하다. 이 단계의 고려사항은 중재방사선의 특정 분야에 전용되는 기기로 구체화할 것인지(일례로, 말초 혈관조영법) 혹은 넓은 범위의 중재방사선 절차를 겨냥한 기기를 가질 것인지를 정하는 것이다. 그러므로 계획된 업무부하의 추정과 함께 사용계획에 대한 객관적 설명을 기술해야 한다. 일반 요건과 세부요건을 포함하는 구체적 기기 사양 세트가 작성되어야 한다. 여기에는 소정의 최소 영상품질과 선량 성능을 위한 요구를 포함해야 한다. 상세 사양은 그 장비가 IEC, 국제표준기구ISO, 미국 식품의약청FDA 또는 기타 대등한 국가 표준을 충족할 것을 요구해야 한다. 입찰 과정에서 제작사에 대해 어떤 방사선방호 도구(예를 들어 탄소섬유 침상)가 가용하고 그 효과가 어떠한지를 명시하도록 요청해야 한다.

(70) 어느 정도까지는 장비 요건도 업무와 관련된다(세부사항은 부록E 참고). 적절한 선량 감시 기능을 갖는 것은 필요하다. 중재방사선 기기는 컴퓨터와 방사선 의학정보시스템RIS에 연결될 수 있어야 한다. 중재방사선 시술자가 있는 위치에 선량 지시가 있어야 한다. 중재방사선 기기 제작자가 입찰 서류와 기기 사양에 응답하도록 해야 하며, 다양한 공급자의 응찰을 평가해야 한다. 첫 단계는 어떤 기기가 세부 기기 사양을 충족시키는지 판단하는 일이며, 그 다음에 최고의 기

기에 대한 결정이 이루어진다. 그런 다음, 의료기관은 모든 관련된 조건을 포함하는 구매계약을 끌어간다.

4.3.2. 취역

(71) 제작자들은 현지 건축 규정에 따라 기기를 설치할 것이다. 설치 기술자들은 적절한 방사선방호 훈련을 받아야 한다. 기기가 설치되고 나면, 일련의 엄격한 점검을 거쳐야 한다. 과정의 시작은 공급된 기기가 입찰서류 사양을 충족할 뿐만 아니라 관련된 국가/국제 표준을 충족하는지를 구입자가 판정하기 위한 수용시험이다. 공급자는 구매자 입회하에 수용시험acceptance test을 수행하여야 한다. 일부 나라에서는 자격 있는 의학물리학 전문가가 구매자를 대신하여 수용시험을 수행하기도 한다. 공급자는 기기가 공표된 성능을 충족함을 입증해야 한다. 장비를 수용하는 것은 구매자의 책임이다. 다음으로는 자격 있는 전문가가 설치의 검사와 방사선방호 설비에 대한 면밀한 검사를 수행할 것이다. 이 검사도 수용시험 절차에 포함될 수 있다. 취역단계에서 성능표준을 수립하고 일상 시험을 위한 기준선을 수립하기 위해 항구성 시험constancy test과 상태시험status test도 수행할 수 있다. 품질보증과 계획된 예방정비 프로그램도 수립되어야 한다.

(72) 기기가 수용시험과 방사선방호 측정에 성공적으로 합격할 때까지 임상에 사용되어서는 안 된다. 다음 단계는 제작사가 기기 운영에 대해 사용기관 직원을 훈련시키는 것이다. 이상적으로는, 중재방사선의학에 익숙하고 경험이 있는 이용 전문가가 이 훈련을 담당해야 한다. 중재방사선의학을 수행하는 모든 의료진은 방사선방호의 실전적 훈련을 받아야 한다. 실전적 훈련 수준과 특징은 전문 그룹마다 다를 것이다.

(73) 기기가 안전하고 사양을 충족하는 것으로 합격하고 의료진이 훈련을 받은 후에라야만, 기기를 임상에 사용해야 한다. 이 단계에서 환자와 의료진 선량이 앞서 주어진 조연에 맞춰 감시되어야 한다.

4.4. 참고문헌

Borras, C., 1997. *Organization Development, Quality Assurance and Radiation Protection in Radiology Services: Imaging and Radiation Therapy*. Pan American Health Organization - World Health Organization, Washington, DC, USA.

- Faulkner, K., 1997. Radiation protection in interventional radiology. *Brit. J. Radiol.* 70, 325-364.
- Faulkner, K., 1992. Personal monitoring during fluoroscopy. *J. Radiol. Prot.* 12, 225-231.
- Faulkner, K., Marshall, N.W., 1993. The relationship of effective dose to personnel monitor reading for simulated fluoroscopic irradiation conditions. *Health Phys.* 64, 502-508.
- Gill, J.R., 1992. Overexposure of patients due to malfunctions or defects in radiation equipment. *Rad. Prot. Dosim.* 43, 257-260.
- ICRP (1991), 1990. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60, *Annals of the ICRP* 21(1-3).
- IEC, 2000. *Medical Electrical Equipment - Part 2-43: Particular Requirements for the Safety of X-Ray Equipment for Interventional Procedures*. IEC 60601-2-43 Ed.1. International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.
- IPEM, 1996. *Measurement of the Performance Characteristics of Diagnostic X-Ray Systems*. Report 32, Parts I-VI. Institute of Physicists and Engineers in Medicine, York, UK.
- Marshall, N.W., Faulkner, K., 1992. The dependence of the scattered radiation dose to personnel on technique factors in diagnostic radiology. *Brit. J. Radiol.* 65, 44-49.
- Marshall, N.W., Faulkner, K., 1995. Optimization of personnel shielding in interventional radiology. In: Faulkner, K., Teunen, D. (Eds.) *Radiation Protection in Interventional Radiology*. Brit. Inst. Radiol., London, UK, pp. 29-34.
- Marshall, N.W., Faulkner, K., Clarke, P., 1992. An investigation into the effect of protective devices on the dose to radiosensitive organs in the head and neck. *Brit. J. Radiol.* 65, 799-802.
- NCRP, 1989. *Exposure of the US Population from Diagnostic Medical Radiation*. NCRP Report No.100. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD, USA.
- 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, USA.
- UNSCEAR, 1988. *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation*. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. UN Publication Sales No. E.88.IX.7. United Nations, New York, NY, USA.
- Vano, E., Arranz, L., Sastre, J.M. et al., 1998a. Dosimetric and radiation protection considerations based on some cases of patient skin injuries in interventional cardiology. *Brit. J. Radiol.* 71, 510-516.
- Vano, E., Gonzalez, L., Beneytez, F. et al., 1998b. Lens injuries induced

- by occupational exposure in nonoptimised interventional radiology laboratories. *Brit. J. Radiol.* 71, 728-733.
- Vetter, S., Faulkner, K., Strecher, E.P. et al., 1998. Dose reduction and image quality in pulsed fluoroscopy. *Rad. Prot. Dosim.* 80, 299-302.
- Wagner, L.K., Archer, B.R., 1998. *Minimising Risks from Fluoroscopic X Rays. A Credentialing Program.* 2nd Edition. R.M. Partnership, 3 E Wedgemere Circle, The Woodlands, TX, USA.
- Wagner, L.K., Archer, B.R., 2000. Management of patient skin dose in fluoroscopically guided interventional procedures. *J. Vasc. Intervent. Radiol.* 11, 25-34.
- WHO (in press). *Manual on Radiation Protection in Hospitals and General Practice. Vol. 2: Diagnostic Radiology.* World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- WHO, 2000. *Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology,* World Health Organization, Geneva.
- WHO-ISH, 1997. Joint WHO/ISH *Workshop on Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology.* BfS-ISH-Berichte 178. World Health Organization and Institute of Radiation Hygiene of the German Federal Office of Radiation Protection, printed by Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg, Germany.

5. 환자의 요구

요 점

- 만일 절차가 유의한 방사선 상해 위험을 수반한다면, 환자들은 그 위험에 대한 상담을 받아야 한다.
- 평가된 최대 누적 피부선량이 3 Gy 이상인 경우(반복되기 쉬운 절차에 대해서는 1 Gy 이상), 피폭 기록을 보존해야만 한다.
- 평가된 피부선량이 3 Gy 이상인 모든 환자는 노출 후 10~14일에 후속추적을 받아야 한다.
- 환자 주치의에게 방사선 영향 가능성에 대해 알려야 한다.
- 선량이 관찰 가능한 영향을 일으키기에 충분하다면, 환자는 절차 후에 상담을 받아야 한다.
- 되풀이 되는 절차를 식별하기 위한 체계를 수립해야 한다.

5.1. 방사선 위험에 대한 상담

(74) 모든 전리방사선 노출에는 어떤 위험이 있지만 대부분 중재방사선 절차에서는 그 위험이 작고, 환자에게 오는 이득이 수반되는 위험을 충분히 능가한다. 그러나 절차 과정에서 높은 선량의 전달은 피부에 상해를 줄 상당한 위험을 수반할 것이다. 그러한 상해를 환자들이 즉시 알 수 있지는 않으며 환자들에게 고통이나 부가적인 불편을 초래할 것이다. 의학의 다른 절차나 치료와 마찬가지로, 환자들은 그러한 상해 가능성에 대해 알 권리를 가지며 그 절차의 수행 여부를 결정할 기회를 가져야 한다—인지동의라 알려진다.

(75) 방사선 위험에 대한 정보는 절차에 대한 동의에 앞서 환자들에게 주어질 정보의 요체이다(그림5.1). 예를 들어 조영제 알레르기반응 등 다른 피부 반응들

이 방사선 노출과 관련이 없다는 것을 환자들에게 알리는 것도 또한 못지않게 중요하다. 나아가 선량이 충분히 높아 상해가 발생할 것 같은 절차 이후에는 환자들이 무엇을 예상하고 무엇을 해야 하는 지에 대해 알려야 한다. 그러한 절차들은 ‘정규’ 변수를 초과했다는 사실, 즉, 높은 선량률이 정상보다 오래 사용되거나 절차가 정상보다 오래 지속된 것에 의해 식별되어야 한다(선량의 정상 범위에 대해서는 아래 참조).

(76) 아동은 암 위험이 성인보다 높을 수 있다. 갑상선이나 여성 유방과 같은 장기들이 중재방사선 절차 동안 조사야에 포함된다면 상담은 잠재적인 발암 영향을 포함해야 한다.

<p style="text-align: center;">인지동의를 위해 환자에게 전달할 정보</p> <p>전리방사선을 사용함으로써 높은 선량 잠재성이 있는 중재방사선 절차에 앞서, 환자와 상의하는 일반적 주제에 다음을 추가해야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none">1. 통상 지연되는 영향에 중점을 둔 전리방사선과 관련된 위험2. 다수 절차의 방사선 영향은 더해지며, 절차들 시간 간격이 가까우면 더욱 심각해짐.

그림 5.1. 인지동의

5.2. 노출 기록

(77) 절차 동안에 최고 누적 피부선량이 3 Gy 이상으로 평가되는 경우(반복되기 쉬운 절차에 대해서는 1 Gy 이상), 최소 요건으로 중재방사선 기술자는 적절한 신체 지도에 절차의 각 단계에서 빔의 입사 부위 표시와 함께 평가된 선량을 주석으로 달아야 한다. 3 Gy(1 Gy)의 준위를 선택한 이유는 절차가 반복되면 누적된 선량이 심각한 피부 영향을 일으킬 수 있기 때문이다. 주석을 단 신체 지도는 환자기록에 넣어야 한다(이전의 중재방사선 절차를 확인하기 위한 시스템과 관련하여서는 아래 참조). 중재 신경방사선학에서는 평가된 눈 선량을 나타내는 머리 지도가 바람직하다.

(78) 중재방사선 기술자는 의학물리사와 함께 통상 수행하는 절차에 대해 명목

선량(또는 ‘통상 선량’ 범위)을 수립해야 한다. 이것은 만약 환자들이 요청한다면 환자에게 위험에 대한 정보를 제공할 수 있게 하고, 한 절차가 정규 변수를 초과할 때 방사선 상해 확률에 대한 아이디어를 갖게 할 것이다(위 참조).

5.3. 후속추적

(79) 피부선량 평가치가 3 Gy 이상인 환자에 대해서는, 중재방사선 시술자는 절차 후 10~14일 기간에 재확인을 위해 환자를 예약해야 한다. 이러한 재검토 목적은 시간에 의존하지만 더 심각하고 만성적인 손상을 예견할 수 있는 피부 영향(주로 홍반)을 식별하기 위한 것이다. 만약 그러한 영향들이 발견된다면, 중재방사선 절차와 예상 피부선량에 관한 상세 자료와 함께 환자를 피부과로 보내야 한다.

5.4. 주치의 통보

(80) 환자 주치의는 절차의 일반적 세부 사항과 함께 전리방사선 영향 가능성에 관해 통보받아야 한다. 제공하는 정보의 양은 환자가 받은 추산 선량에 부합해야 한다. 일반적으로는 전리방사선 영향(이 문서에 논의된)에 대한 정보 쪽지로 충분할 것이지만, 만약 선량이 홍반 또는 더 심각한 영향을 이끌기에 충분하게 높다고 알려졌거나 그런 의심이 간다면, 적절한 전문가에 의한 추가적 후속추적이 권고되어야 한다.

5.5. 환자에 대한 조언

(81) 절차 후에 환자가 증상이나 관찰 가능한 피부 영향을 일으키기에 충분한 선량을 받은 것으로 생각되면, 중재방사선 시술자 또는 그 직원은 발생 가능한 증상이나 조짐, 그리고 이들이 발생한 경우 환자가 조치해야 할 사항에 대해 환자에게 알려야 한다.

5.6. 반복된 절차 확인체계

(82) 이전에 중재방사선 절차를 거친 환자를 식별하는 시스템이 구축되어야 한다. 이 시스템은 피폭 부위와 환자선량에 대한 세부사항을 제공해야 한다(위 5.2

절 노출기록 부분 참조). 비록 처음 또는 후속 절차에서 사용된 선량이 그 자체 만으로는 방사선 영향을 초래하기에 불충분할지라도, 피부와 장기의 재노출은 방사선 영향의 확률을 유의하게 증가시킬 수 있으므로 이 식별 시스템은 요긴하다. 결과적으로, 중재방사선 시술자는 환자가 이전에 중재적인 절차를 거쳤는지를 항상 확인해야 하며, 가용하다면 그 정도와 입사 부위, 평가된 피부선량을 알도록 모색해야 한다. 다른 의료시설에서 절차를 거쳤는지에 대한 유일한 즉각 정보원은 환자 자신일 것이다.

6. 시술자의 요구

요 점

- 중재방사선 시술자는 전리방사선의 생물학적인 영향을 이해해야 한다.
- 환자와 의료진을 위한 방사선방호 기본 훈련이나 계속 훈련은 중재방사선 기술을 사용하는 의사의 교육에서 필수이어야 한다.
- 모든 중재방사선 시술자는 방사선 상해에 대해 절차의 결과를 감사하고 검토해야 한다.
- 새로운 중재방사선 기술의 도입은 방사선 위험을 포함한 위험과 이익을 고려해야 한다.

6.1. 지식

(83) 다른 의학 영역과 마찬가지로, 의사는 어떤 의료 절차의 위험을 증가시키는 모든 인자들에 대한 범위와 영향에 유의해야 한다. 중재방사선 절차에서는 전리방사선의 생물학적 영향에 대한 적절한 이해를 포함해야 한다.

6.2. 훈련

6.2.1. 방사선방호

(84) 모든 의사는 방사선의 생물학적 영향에 대한 기본 훈련을 받아야 한다. 심각한 병리적 영향을 일으키기에 충분히 높은 선량을 가하는 잠재성과 부합되도록 중재방사선 절차를 수행하려는 의사에게 부가적 훈련이 필요할 것이다. 현재로서는 방사선의학자가 아니면서 중재방사선 기술을 사용하는 의사에게 이러한 수준의 훈련이 제공되지 않고 있다. 기본 훈련과 계속 훈련 모두에서, 의사들은 환자와 자신, 그리고 직원을 위한 방사선방호 훈련을 받아야 하는데, 여기에는 개인 보호장구 사용과 피폭 감시가 포함되어야 한다.

6.2.2. 실용 기능숙달

(85) 중재방사선 절차를 수행할 수 있게 되기 전에, 의사는 공인되고 표준화된 요강을 적용하고 적절한 전문 기관에 의해 승인된 훈련을 받아야 한다. 훈련이 완료된 후에는, 의사는 적절한 수준의 기능skill이 획득될 때까지 감독 아래 경험을 쌓아야 한다. 그러한 기능을 유지하기 위해서는 최소한의 활동 수준이 있어야 한다. 기능이 계속 유지된다면 다음으로는 절차의 치료 목적을 손상하지 않고 환자와 자신, 그리고 다른 직원들의 방사선 피폭을 최소화하도록 발전시켜야 한다.

6.3. 전문성 계속 개발

(86) 중재방사선 의사는 중재방사선 절차에서 방사선방호 문제에 대한 지식을 유지하고 발전시키기 위해 정기적으로 적절한 과정에 참석해야 한다.

6.4. 감사

(87) 중재방사선 의사는 임상 결과를 개선하고 부작용을 줄이기 위해 환자 선별, 기술 선택과 운영 절차를 개선할 목표 아래 전리방사선 관련을 포함한 중재방사선 절차 결과를 주기적으로 감사해야 한다.

6.5. 새로운 절차의 개발

(88) 치료 효능을 높이고 적용 증상을 넓히기 위해 새로운 중재적 절차가 장차 개발될 것이다. 새로운 절차들은 통상 정규 연구과제의 일부로 수행되는 적절한 객관적 시도를 통해 효능이 입증된 후에만 임상적 임상 진료에 도입되어야 한다. 각각의 새로운 절차에 대한 평가는 예견되는 방사선 노출과 그 영향의 정량화를 포함해야 한다.

7. 권고사항

(89) 다음을 권고한다.

1. 중재방사선 절차를 수행하는 모든 사람은 환자와 의료진의 방사선 상해에 대한 현상과 잠재성에 대하여 유념해야 한다.
2. 중재방사선 절차를 수행하는 모든 부서는 중재방사선 기기 변수의 출력과 환자 및 의료진에게 부과하는 전형적 선량에 대해 알아야 한다.
3. 모든 중재방사선 절차는 그 절차에 사용되는 기기의 적절한 기술 인자에 대한 측정과 기록을 포함해야 한다.
4. 모든 중재방사선 의사는 환자와 의료진의 선량을 감소시키는 방법에 유념해야 한다.
5. 모든 중재방사선 의사는 적절한 훈련을 받아야 한다.
6. 모든 부서는 중재방사선 진료를 감사하고 방사선 유발 부작용을 확인하기 위한 절차를 수립해야 한다.
7. 모든 부서는 이전에 방사선에 노출된 환자를 식별하기 위한 과정을 수립해야 한다.
8. 모든 환자에게 인지동의 일환으로 방사선 영향 가능성에 대해 알려야 한다.
9. 모든 중재방사선 장비 제작자는 다음을 제공해야 한다.
 - a) 인간공학적 방사선방호 장치
 - b) 선량 감축 기능
 - c) 전달된 선량에 대한 적절한 지시.
10. 환자 후속추적을 위한 적절한 절차가 수립되어야 한다.

부록 A: 절차 목록

I. 혈관 중재시술

- | | |
|---------|--|
| 1 색전증 | |
| 고선량 | 동맥류와 동정맥류 기형 |
| 중선량 | 종양과 정맥류varices |
| 저선량 | 출혈 |
| 반복성 | 종양과 정맥류(잡음) |
| 2 약물 투입 | |
| 중선량 | 종양(카테터 설치) |
| 저선량 | 출혈과 혈전용해 |
| 3 혈관성형술 | |
| 중선량 | 풍선 경피경관혈관성형술(PTA), 죽종 절제술, 스텐트/stent graft 설치 |
| 반복성 | 풍선 PTA(드뎀) |
| 4 심장 시술 | |
| 고선량 | 경피경관 동맥혈관성형술(PTCA), 고주파제거법, 스텐트 설치, 관막 성형술 |
| 반복성 | PTCA(잡음) |
| 5 기타 | |
| 고선량 | 경목정맥 간내문맥 전신성 단락술transjugular intrahepatic portosystemic shunt(TIPS) |
| 중선량 | 이물질 제거 |
| 저선량 | 필터설치, 혈전제거술thrombectomy |
| 반복성 | TIPS(드뎀) |

II. 비혈관 중재시술

- | | |
|-----------|---|
| 1 배출&누수 | |
| 중선량 | 경피담즙배액술(PTCD) 내시경적 담도배액법(EBD) |
| 저선량 | 농양과 낭포, 신루 형성술, PTCD |
| 반복성 | PTCD |
| 2 관상미세흡인술 | |
| 저선량 | |
| 3 기관지 | |
| 중선량 | 담관, 소화관, 기관지, 요관/요도 |
| 4 응석 치료 | |
| 저선량 | 고주파제거, 저주파응석, 에탄올 주입, 레이저제거, 냉동외과 cryosurgery |
| 반복성 | 위 모두(잡음) |
| 5 기타 | |
| 저선량 | 경기관지 폐생검(TBLB), 쇄석술lithotomy |

(주) 선량의 고/중/저는 환자 누적 피부선량이 각각 100 mGy 대, 10 mGy 대, 그리고 10 mGy 미만을 의미한다.

부록 B: 환자와 의료인 선량

부록B1: 시술 절차에서의 환자 선량

절차	피부선량	기술 내역	저자, 연도, 간행물
Coronary angiography(CA) Intervention without CA (I) Intervention with CA (I+ CA)	총 집적피폭 CA:~1250 mGy I:~3600 mGy I+ CA:~3300 mGy	GE MPX-100/LUC biplane 여러 사용실	Cusma 1999, JACC
Cerebral embolisation(CE) Biliary stent(BS) Nephrostomy(NE)	CE: 160~180 mGy BS: 110 mGy NE: 110 mGy		McParland 1998, Br J Radiol
RF cardiac catheter ablation	피부 손상 누적 피부선량: 1100~1500 mGy	GE biplane 구형	Vano 1998, Br J Radiol
RF cardiac catheter ablation	피부 손상 총피부선량>2500 mGy	분리칼매기 제거	Wagner 1998, RSNA
Transjugular intrahepatic portosystemic shunt (TIPS)	피부 입사 400~1700 mGy	Philips Integris v-3000	Zweers 1998, Br J Radiol
Neuroradiologic procedures	전면: 1200 mGy 측면: 640 mGy (시술건 25%에서 피부선량>2000 mGy)	Biplane neuro- radiologic system Toshiba CAS 30B.110A	Gknatsios 1997, Radiology
RF cardiac catheter ablation(소아)	최고 피부 선량: 90~2350 mGy	두 기관 환자 2-20세	Geise 1996, PACE
Cardiac catheterisation and PTCA	피부손상 누적선량 11000~35000 mGy		Lichtenstein 1996, Arch Eermatol
Interventional neuroradiologic procedures	310~2700 mGy 추가 필터 사용시: 130~1230 mGy	추가 필터 사용 시 선량 감소	Norbash 1996, AJNR
RF cardiac catheter ablation	930~620 mGy	500명의 환자들	Park 1996, PACE
PTCA	피부손상 총피부선량 17000 mGy	초점에서 피부까지 거리: 54cm	Sovic 1996, Acta Radiol
Coronary procedures	660 mGy (최고 8200 mGy)	핀란드 14개 기관	Karppinen 1995, Rad Prot Dosim
PTCA Hepatic embolisation(HE) Cerebral embolisation(CE)	PTCA:~100 mGy HE: 500 mGy CE: 350 mGy	몇 병원 평균치	Vano 1995, Br J Radiol
Cerebral embolisation	일시적 탈모 최대피부선량 6600 mGy	BiplaneX선시스템	Huda 1994, Radiology

부록B2: 중재방사선학 종사자의 선량

절차	종사자 선량	기술내역	방사선 방호인자	저자, 연도, 간행물
Abdominal angiography	20cm거리에서 1.6 mGy/절차 목과 얼굴: 0.3~0.4mGy 골반: 0.9 mGy 왼쪽손: 0.3 mGy	Siemens Polystar 수동주입	세부사항 없음	Hayashi 1998, Cardiovasc
Cardiology vascular, and abdominal procedures	방호하지 않은 상태 전형적 어깨선량: 0.3~0.5mGy/절차 9개 직원 위치에서 측정 보고: 0~2.1mGy/절차 심장강화시술: 0.008~0.12 mGy/Gy.cm ²	6개 기관 전문가 10명 83건 시술	일부기관 설치	Vano 1998a, Br J Radiol
Vascular and abdominal procedure	수정체 손상 450~900mGy/연 (눈선량)	2개의 기관 구형 X선 장비	눈 방호 없음	Vano 1998b, Br J Radiol
TIPS	진행당 유효선량: 0.004~0.028mGy/절차	Philips Integris v-3000		Zweers 1998, Br J Radiol
Cardiac procedure	0.009~0.04mGy/부위; 연구실에서 혈관시술연 구원이 수행시 더 높은 선량	2개의 연구기관 에서 140개 사례	방호벽 설치	Linley 1997, Health Phys
28 standard drainage 10 complex drainage	손가락선량 0.008~0.665mGy, 입안 0.087	Siemens system 침상하부 X선관		Vehmas 1997, Br J Radiol
140 Cardiac procedures	0.010~0.040 mGy/건	2개의 기관, 순 환기과 연구원 포함 371 사례	방호벽 설치	Watson 1997, Health Phys
Vascular and liver biliary drainage	혈관시술에서 몸통, 목, 양손 0.001~0.002mSv/Gy.cm ² 담즙배액시술시 목과 손 0.007~0.029mSv/Gy.cm ²	2 개의 X선실 Philips Integris 3000 GE L-U	X선실 1실만 방호스크린 설치	Willams 1997, Br J Radiol
Coronary angiography PTCA	목부위 선량 0.05mGy/절차	Philips Integris 3000C	이동식 차폐체	Zorzetto 1997, Cathet Cardiovasc Diagn

절차	종사자 선량	기술사양	방사선 방호인자	저자, 연도, 간행물
Coronary procedures	보호복 내부: 0~5.6mGy/월 보호복 외부 : 0~25.2mGy/월	12명의 연구원, 연간 448회 시행 순환기 혈관연구 실에서 GE MPX 5단계	보호복 0.5mm 납, 갑상선차폐, 이동식 차폐	McKetty 1996, Health Phys
Coronary angiography	갑상선부위 0.21~0.37mGy/절차 왼손부위 0.3~0.54 mGy/절차	Philips Polydiagnost C2 (12.5f/s사용으로 직원선량 감소)	1mm 납스크린 사용	Steffino 1996, Br J Radiol
Coronary	유효선량: 0.05mSv/절차 0.5 mGy/절차(눈선량) 1.1 mGy/절차(양손)	핀란드 14개 연 구기관	몇 연구기관, 눈보호 안경 착용	Karppinen 1995, Rad Prot Dosim
Cerebral angiography Arterial embolisation	0.013 mSv/절차(눈) 0.011~0.025mSv/절차 (납치마 위)	CGR DG 300	허리부위 긴 납차폐체	Marshall 1995, Br J Radiol
Coronary procedures	환자 근처 8mSv/h (Projection 90 LAO)	Philips Integris BH 3000		Marx 1995, AAPM
Paediatric cardiac catheterisation	0.088mSv/절차(수정체) 0.180mSv/진행(갑상선) 0.008mSv/진행(유효선량)	U-arm 18절차 기술 Toshiba KXO-2050		Li 1995, Health Phys
Interventional procedures	연간 평균 유효 선량 3.2mSy (범위 0.37~10.1 mSy)	28 방사선의학자, 17 교수진 깃위와 납치마 내 부 선량계		Niklason 1993, Radiology
Cardiac catheterisation	0.015-0.053mSv/절차 (눈)	3개 센터, 5개의 x선 장치	눈보호 안경 차폐스크린 사 용	Pratt 1993, Br J Radiol
Cardiac catheterisation	0.28 mGy/절차(왼눈) 0.15mGy/절차(갑상선) 0.99 mGy/절차(왼손)	Siemens Angioskop D 31 절차	차폐체 사용	Calkins 1991, Circulation

주: 의료진 선량은 여러 방법으로 표현되는데 각각은 표시된 문헌에 주어져 있다.

부록 C: 임상 프로토콜의 예시

임상 프로토콜, TIPS (경정맥 간내 문맥전신성 단락술)

지시

1. 위식도의 정맥류는 내시경적으로 치료하기 어렵다.
2. 난치성 복수ascites는 천공이 아닌 어떠한 절차로도 관리될 수 없다.
3. 만약 하혈이 확실히 문맥 고혈압과 관련되어 있다면, 정맥류의 내시경적 증거 없이 위장 출혈

절대적 금기

1. 심각한 폐고혈압
2. 문맥 혈전증 확산
3. 다낭성 질환
4. 심각한 신장 손상
5. 심각한 심폐기능 장애

상대적 금기

1. 간 악성종양
2. 국부 문맥 혈전증
3. Child C 등급 간경변(총 빌리루빈이 3.0 mg/dl 이상일 때)

사전 처치 및 촬영

1. 황산 아트로핀과 다이아제팜 정맥 주사
2. DSA, 3D-CT, 3D-MRA 등으로 간문맥과 간정맥 진단 영상

절차

1. 목정맥 뚫음
2. 간정맥 뚫음
3. 문맥정맥 속에 카테터 설치
4. 풍선 카테터로 문합 확장
5. 스텐트 설치

X선 투시

1. 투시 시간을 최소화하기 위해, 시술자는 발스위치로 투시기를 제어해야 한다.
2. 투시하는 동안 시술자가 환자 머리 쪽에 서므로 뇌혈관 조영술에서보다 X선 관에 더 가깝다. 그러므로 방사선 피폭을 최소화시키기 위해 X선 탁자에 납치마를 붙여야 한다.
3. 투시는 대개 낮은 선량(20 mGy/min) 모드로 수행한다.

투시 시간

1. 목정맥으로부터 간정맥 안에 카테터 설치: 약 1분
2. 문맥 정맥을 뚫고 카테터 설치: 투시 시간은 뚫는 수에 달려있다. 평균 시간은 약 40분이며, 최소 18분에서 최대 75분까지 걸린다.
3. 문합 확장과 스텐트 설치: 약 1분

영상 획득 수

1. 문맥 정맥 조영술 2회: 성공적으로 뚫은 때 1회, 스텐트 장착 후 1회
2. 스텐트 위치와 확장 정도 확인용으로 단순 X선 필름 1장.

노출 기록

환자 누적 입사 피부선량이 3 Gy 이상으로 추정되면 이를 기록한다.

후속추적

1. 간 기능 검사와 배노량 측정
2. 피부선량이 3 Gy를 초과하는 것으로 추정되는 환자는 피부 영향을 확인하기 위해 절차 후 10~14일 사이에 후속 점검을 수행한다.
3. 영상화: 퇴원 후 외래로 2~3개월 주기로 도플러 초음파검사, CT, 문맥 정맥 신티 그래피, 또는 DSA를 수행한다.
4. 재치료: 만약 DSA의 증거가 50%의 문합 협착 또는 문맥 압력이 15mmHg보다 높으면 PTA를 수행해야 한다. 만약 PTA가 혈관을 재형성하는 데 실패하면, 혈전 용해를 수행한다. TIPS 재시술은 다른 방법에 의한 혈관 재형성이 실패한 경우에 마지막 수단이다.

부록 D: 선량

D.1. 흡수선량

(D1) 조직 흡수선량은 신체 조직 내에서 단위질량 당 흡수된 에너지이다. 흡수선량의 단위는 그레이(Gy)이다. 1그레이는 킬로그램 당 1줄이다. mGy는 흡수선량이 Gy의 작은 분율일 때 종종 사용된다.

(D2) 가령 피부상해나 백내장 같은 염증이나 세포살상 영향(결정적 영향)에 대해서는 조직 내에서 최대 누적 흡수선량이 해당 양이다.

(D3) 암이나 유전적 영향(확률적 영향)에 대해서는, 선형 선량-영향 관계 가정 하에, 장기나 조직의 평균 흡수선량이 이후에 그러한 영향의 확률 증가에 대한 지시자가 된다.

D.2. 피부 상해에 대한 환자선량 계측

(D4) 공기커마(공기 질량 내에 방출된 운동에너지)는 공기 단위질량 당 전리 X선에 의해 방출된 모든 2차 전자의 초기 운동에너지 합이다. 중재방사선 절차에 이용되는 X선 에너지에 대해서, 공기커마는 공기 흡수선량과 수치적으로 동일하다. 공기커마의 통상 단위는 그레이(Gy) 또는 밀리그레이(mGy)이다.

(D5) 입사 선량incident dose(ID)은 환자가 없을 때 X선 빔 축 상의 초점-피부 거리(FSD)에서 공기커마(또는 공기의 흡수선량)이다. ID는 환자로부터 후방산란 방사선을 포함하지 않는다. X선관 초점에서 환자 표면까지 거리(FSD)가 줄어들면 ID 크기는 증가한다. ID의 단위는 Gy 또는 mGy이다.

(D6) 입사 피부선량entrance skin dose(ESD)은 환자의 주어진 부위에서 피부 흡수선량이다. ESD는 환자로부터 후방산란 방사선을 포함한다. ESD는 환자 위에 둔 선량계로 직접 측정할 수 있고, 또는 ID에 후방산란인자(B)를 곱하여 구할 수 있다. 예를 들어, 물(방사선 흡수 특성에서 조직과 근사함)에서 B는 X선 빔의 선질과 X선 조사야 크기에 따라 약 1.25~1.40의 범위에 있다(표D.1 참조). ESD 크기도 FSD가 감소함에 따라 증가한다. ESD의 단위 또한 Gy나 mGy이다.

표 D.1. 방사선 선질과 조사야 크기 함수로서 후방산란인자(B) (후방산란 물질: 물)

최대 인가 전압 kV ^{a)}	조사야 크기 cm×cm		
	10×10	20×20	30×30
60	1.26	1.29	1.30
80	1.29	1.34	1.36
100	1.32	1.39	1.41

a) 총 여과는 2.5mm 알루미늄

D.3. 기타 선량계측

(D7) 누적 선량면적곱dose area product(DAP)은 모든 중재방사선 절차 분할에 대해 FSD에서 입사 선량(ID)과 X선 조사야 면적(A) 곱의 총합이다. 누적 DAP은 X선원과 환자 사이에 임의의 편리한 장소에서 정의된다. DAP는 환자와 운영자의 확률적 영향에 대한 선량 관리에 도움이 되지만, 피부의 최대 누적 흡수선량을 추산하는 실질적 방법은 아니며 결정적 영향을 예견하는 데도 유용하지 않다. DAP의 단위는 Gy cm²이다.

D3.1. 선량 계측량의 측정

(D8) 공기커마(ID)는 중재방사선 장치를 위해 적절한 기준점에서 측정할 수 있다. 예를 들어 C-arm X선 장치의 아이소센터isocentrer 중심으로부터 X선 초점 방향으로 15cm되는 빔 중심축 위의 점을 기준으로 할 수 있다(IEC,2000). 만약

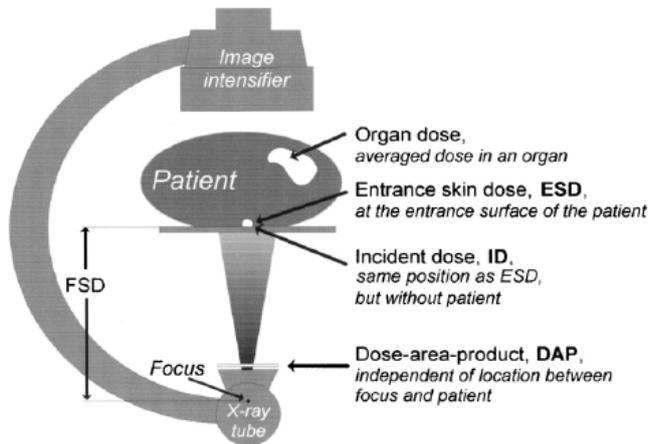


그림 D.1. 중재방사선학에서 (환자의)방사선 노출을 설명하기 선량 계측량. 위로부터 장기선량, 피부입사선량(ESD), 입사선량(ID), 선량면적곱(DAP).

적절한 감시 장치가 X선 장비에 설치되어 있으면, ID는 중재방사선 절차를 간섭하지 않고 일상적으로 측정할 수 있다.

(D9) ESD는 환자 피부 위 대표적 점들에 놓은 작은 선량계를 사용하여 측정할 수 있다. 모든 선량계와 선량계산 프로그램은 적절하게 교정되어 있어야 한다.

(D10) 피부의 특정한 부위에서 최대 누적 흡수선량 평가를 위해 ID 혹은 ESD를 사용할 때, X선관이 환자에 대해 회전이나 변위가 있어 노출되는 피부 부위를 변화시킨다면 이를 고려해야 한다. 그렇지 않으면 최대 피부선량을 과대평가하게 될 것이다.

(D11) DAP는 콜리메이터 시스템에 설치되어 있는 특별히 설계된 진리함을 사용하여 측정될 수 있다. 만약 X선 장치가 현대 디지털 시스템이라면, DAP는 발생 장치와 디지털 기록의 아가리 위치 데이터를 사용하여 계산될 수도 있다. 만약 적절한 감시 장치가 X선 장비에 설치되어 있으면, DAP는 중재방사선 절차를 간섭하지 않고 일상적으로 측정할 수 있다.

D.4. 직업상 선량에 대한 의료진 선량 계측

(D12) 직업상 피폭에 대한 선량한도는 특정 조직의 결정적 영향에 대해서는 등가선량으로 표현되며, 전신의 확률적 영향에 대해서는 유효선량으로 표현된다. 등가선량과 유효선량의 단위는 시버트(Sv)이다. 1시버트는 1000밀리시버트(mSv)와 같다. mSv는 값이 Sv의 작은 분율일 때 사용된다.

(D13) 등가선량은 특정 조직의 흡수선량에 관련 방사선의 종류와 에너지의 상대적 효과를 가중하여 도출된다. 중재방사선 절차에서 사용되는 X선에 대해서는 가중치가 1이다. 결정적 영향에 대해 사용될 때는, 등가선량은 결정적 영향의 문턱 값에 근접한지에 대한 하나의 지시자가 된다.

(D14) 유효선량은 특정 조직의 흡수선량에 관련 방사선의 종류와 에너지의 상대적 효과와, 그 조직에 수반되는 확률적 위해에 대한 상대적 방사선 민감도를 가중하여 도출된다. 유효선량은 주어진 수준으로 피폭한 인구집단에 대해 후일 확률적 영향 확률의 증가에 대한 하나의 지시자가 된다.

(D15) 직업상 선량한도는 확률적 영향(유효선량 한도)과 결정적 영향(해당 조직의 등가선량 한도)에 대해 ICRP가 권고하였다(ICRP,1991). 그림D.2에 직업상

선량한도가 mSv 단위로 주어져 있다. 중재방사선 절차의 X선 에너지에 대해서는 mGy로 나타낸 흡수선량 수치가 mSv로 나타낸 등가선량 수치와 기본적으로 같다.

(D16) 의료진에 대한 방사선원은 형광투시나 방사선촬영을 하는 동안 모든 방향으로 방사선이 산란되는 환자의 신체이다. 개인 선량계는 납치마 아래에 패용해야 한다(그림D.2 참조). 측정된 선량은 유효선량을 대신하여 사용될 수 있다. 납치마 위쪽 목선 바깥에 패용하는 둘째 선량계는 유효선량을 더욱 정확하게 측정 가능하게 한다(NCRP, 1995).

(D17) 중재방사선 시술자들의 피부, 손, 발과 눈의 수정체에 대한 선량을 감시하기 위해서는 특별한 선량계(예: 반지선량계)가 사용되어야 한다. TLD와 새로운 반도체 선량계가 이용 가능하다.

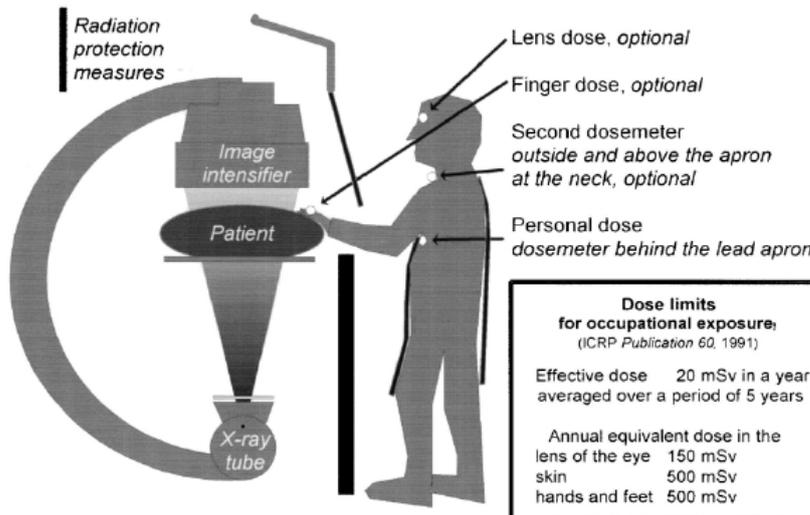
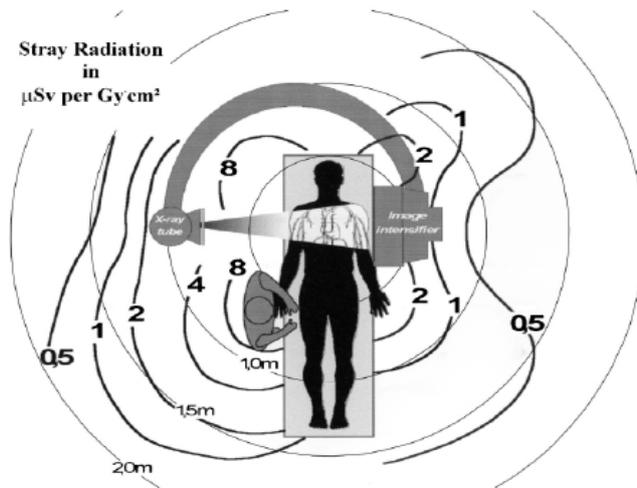


그림 D.2. 중재방사선학에서 의료진의 방사선 피폭을 설명하기 위한 선량계측량. 개인선량계는 방사선원을 향하는 신체의 상부, 납치마 안쪽에 패용해야 한다. 둘째 선량계는 납치마 위쪽 목선 바깥쪽에 패용한다.

4) <역주> 본질적으로 유효선량은 직접 측정 가능한 양이 아니다. 따라서 실제로는 Hp(10)과 같은 실용량을 측정하여 유효선량의 보수적 근사값으로 간주한다. 그러므로 개인선량계는 실용량을 측정하도록 설계되고 교정된다. 목깃 선량계를 하나 더 사용한다고 '유효선량을 더 정확히 측정'한다는 표현을 확대해서 해석하지는 말아야 한다.

(D18) 가장 중요한 방사선방호 수단 중의 하나는 방사선원으로부터 거리를 멀리하는 것이다. 그림D.3의 전형적 수술실 평면도에 등선량 곡선을 함께 보였는데, 이것은 차폐나 납치마와 같은 부가적 방호수단은 고려하지 않은 것이다. 선량률은 환자의 방사선 입사표면으로부터 거리에 매우 의존적이다. 또한 선량률은 영상증폭관 입사면 선량률, 조사야 크기, 관전압과 입사 X선 방향과 같은 다른 변수들에 따라서도 달라진다. 그림D.3은 수평 방향 빔을 사용할 때 형광투시X선 시스템 주변의 전형적인 등선량 곡선을 보인다. 빔 방향이 연직이라면(예: 침상하부 X선관), 선량률은 바닥에서 높이에 따라 크게 변한다.



그림D.3. 등선량 곡선이 표시된 중재방사선 X선 장치 운영 평면도. μSv 단위의 선량은 1 Gy cm^2 DAP값에 대해 정규화된 것이다. 바닥부터 높이는 150 cm이다. 고선량률 모드를 사용하는 투시에서는, 선량률이 같은 위치에서 등선량 곡선에 주어진 수치에 mSv/h 단위를 사용한 값의 범위에 있다. <역주> 본문(제65항이나 그림 4.1)에서 가능하면 시술자는 영상증폭관 쪽에 서야 한다고 권고하고 있음에 반해 그림에서는 X선관 쪽에 서 있다. 공간의 제약 등 특별한 이유가 없다면 예시그림 작성이 약간 부주의했다.

D.5. 참고문헌

- ICRP, 1991, 1990. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60, *Annals of the ICRP* 21 (1-3).
- IEC, 2000. *Medical Electrical Equipment . Part 2-43: Particular Requirements for the Safety of X-Ray Equipment for Interventional Procedures*. IEC 60601-2-43 Ed.1. International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.
- Marx, D.L., Balter, S., 1995. The distribution of stray radiation patterns in a cardiac catheterization laboratory. *Health Phys.* 68 (Suppl. to No. 6), s84.
- 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, USA.

부록 E : 조달 점검표

임상 요구 분석	업무량
장비 명세서	일반 요건 주요 장비 부품 기능 요건 구체적 장비 요건
컴퓨터 성능	영상 전시 매트릭스 처리 시간 메모리/영상 저장 PACS 연계 CIS 연계
시스템 성능	영상품질 환자선량 선량관리 수단
사용자 지침서	기술 훈련 운영 훈련
국가, 국제적 표준 적합성	전기안전 기계안전 방사선안전 사용실 설계/차폐
서비스와 보증	보수 프로그램 품질관리 프로그램 서비스 소프트웨어 프로토콜 접근/서비스 일정 근거
운영 비용	5년간 예상되는 소모품 비용