발 간 등 록 번 호
11-1790387-000009-01

의료방사선시리즈 No.20

국민의 내일을 위한 정부혁신
보다나은 정부

진단참고수준 가이드라인

중재적방사선시술

2020. 10.

질병관리청
KDCA

intervention
Korean Society of
Interventional Radiology

목 차 | CONTENTS

진단참고수준 가이드라인 -중재적방사선시술-

1. 서언 1

2. 방사선의 환자에 대한 위험 2

3. 중재적방사선시술시 의료피폭에 대한 방사선 방어 3

4. 외국의 중재적방사선시술 참고 기준(Reference level) 5

가) 영국 5

나) 미국 8

다) 스페인 11

라) 프랑스 12

마) 독일 13

바) 일본 15

사) 종합적 고려사항 15

5. 국내에서 측정된 중재적방사선시술시의 환자선량에 대한 데이터 16

6. 2019년 국내측정 환자선량 데이터 및 참고기준(Reference level) **제시** 18

가) 측정대상 병원 18

나) 선량평가 대상 시술 선정 18

다) 중재시술 선량 평가 21

라) 환자선량 평가결과 22

마) 중재시술 종류별 피폭선량 정보 분포 및 진단참고수준 25

바) 기존 국내외 자료와의 비교 29

7. 중재시술로 인한 장기흡수선량 및 유효선량 평가 34

가) 중재시술 종류 및 장치 특성기반 환자선량 평가방법 개발 34

나) 중재시술 종류별 환자의 장기선량 및 유효선량 평가 35

다) 중재시술 종류별 유효선량 환산인자 도출 39

8. IR 장비 내장형 면적선량계 오차율 분석 41

9. 중재시술 장비 선량분포 측정 45

10. 환자선량 참고시 주의사항 49

11. 중재적 시술시 환자선량 감소를 위한 권고사항 50

12. 참고문헌 51

1 서언

1895년에 W.C. Roentgen이 X선을 발견한 이후, 의료용 방사선은 질병의 진단, 치료 및 연구에 유용하게 사용되고 있으며, 질병으로부터 인간의 건강을 보호하고 의학을 발전시키는데 아주 중요한 역할을 하고 있어, 그 잠재적 위험성에도 불구하고 현대의학에서 점점 널리 사용되고 있다.

환자가 받는 의료용 방사선량은 검사종류와 검사부위에 따라 각각 다르며, 같은 검사라 할지라도 의료기관 별로, 또한 각 나라별로도 차이가 있게 마련이다. UN방사선영향과학위원회(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR) 2000 보고서에 따르면, 유럽연합(EC)이나 OECD 국가에서 동일한 영상의학 검사를 받더라도, 환자가 받는 방사선량은 의료기관에 따라 10~20배의 큰 차이가 있었다.

의료방사선 분야의 환자 피폭선량에 관한 연구는 국제적으로 많이 수행되고 있는데, 진단영역의 의료방사선 분야에서는 비교적 연구가 활발한 반면, 중재적방사선시술 분야는 시술의 다양성과 치료 목적의 방사선 이용이라는 특성 때문에 상대적으로 연구결과의 발표가 제한적이었다.

이에 질병관리본부에서는 국내에서 많이 시행되는 주요 중재적방사선시술별로 환자선량을 측정하고 데이터를 확보하여, 시술자가 참고할 수 있는 선량기준과 이를 기반으로 시술자가 의료현장에서 활용할 수 있는 환자의 방사선 방어가이드라인을 마련하였다.

이번에 마련된 가이드라인을 통하여 국내 의료기관들이 환자의 방사선 피폭 저감화 실천은 물론, 나아가 시술자의 피폭선량도 저감될 수 있도록 의료 방사선 안전관리를 시행하는데 도움이 되기를 바라는 바이다.

2 방사선의 환자에 대한 위험

중재적방사선시술(Interventional Radiology, IR, 인터벤션 영상의학)은 방사선 영상투시 장치를 사용하여 미세한 도관을 체내에 삽입하여 시술함으로써, 수술적 노출없이 목표하는 장기에 약물 또는 의료용기구 등을 삽입하여 비침습적으로 질병을 진단하거나 치료하는 새로운 의료 분야이다. 또한 외과적 수술에 비하여, 마취에 대한 부담을 감소시키고 접근이 어려웠던 병소의 치료를 가능하게 하였으며, 입원기간을 단축하여 환자에게 시간적/경제적 이익을 제공할 수 있게 되었다. 최근에는 다양한 시술재료의 개발과 새로운 방법의 중재적 시술이 개발되면서 그 시술빈도가 세계적으로 계속 증가하고 있는 추세이다.

그러나, 중재적 시술로 인한 환자의 치료적 이익은 과거에 비해 증가하였지만, 시술이 점점 다양해지고 복잡해짐에 따라 시술시간 및 시술빈도가 같이 늘어나기 때문에 환자의 의료방사선 피폭선량의 증가에 대한 관심과 우려 또한 증가하고 있다.

방사선이 인체에 미치는 영향은 발현기전에 따라 결정적 영향과 확률적 영향으로 나눌 수 있다. 결정적 영향이란 낮은 방사선량에서는 인체에 대한 방사선 영향이 없으나, 발단선량(Threshold dose) 이상에서부터 영향이 나타나기 시작하는 현상을 말한다. 이 영향의 예로서는 급성효과, 백내장, 피부홍반, 탈모, 불임 등이 있다.

확률적 영향이란 방사선 피폭의 영향이 반드시 나타나는 것은 아니지만, 피폭되는 방사선량이 많으면 많을수록 영향이 나타날 확률이 높아지는 것을 의미한다. 예를 들면 암을 유발하는 발단선량은 없지만, 피폭된 방사선량이 많으면 많을수록 암 발생의 위험은 점차 높아지게 된다. 따라서 환자에 대한 안전관리 측면에서는 이러한 영향이 매우 중요하며, 인체에 영향을 미치는 문턱선량이 없으므로 방사선을 사용하는데 있어 가능한 한 선량을 저감화하려는 노력이 필요할 것이다.

3 중재적방사선시술시 의료피폭에 대한 방사선 방어

방사선 진단과 같은 저선량 방사선 구간에서 암 발생의 잠재적 위험에 대해 보고한 여러 연구가 있으나 그 위험에 대한 근거는 불확실성을 안고 있다. 이러한 근거의 불확실성으로 인하여 의료방사선 안전관리의 기본 개념은 사회적·경제적 인자를 고려하여 합리적으로 달성할 수 있는 범위에서 방사선 피폭 발생 가능성, 피폭자 수 및 개인선량 크기가 가능한 낮게 유지되어야 한다는 'ALARA (As Low As Reasonably Achievable)' 원칙이 사용된다.

국제방사선방어위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서는 2007년 3월 독일의 에센회의에서 2007 ICRP 권고를 최종 승인하였다. 2007 권고에 따른 의료피폭에서의 방사선방어 원리는 다음과 같다.

- ○ 의학검사의 정당화(Justification for medical procedures): 의료기관에서 의료용 방사선을 사용할 때에는, 이로 인한 환자의 이익이 해로움보다 클 경우에만 사용하도록 한다.
- ○ 의료피폭에서의 방어의 최적화(Optimization of protection in medical exposure)는 의료영상을 목적으로 수행하는 검사 시 환자의 방사선피폭에 진단참고수준(DRL, Diagnostic Reference Level)을 적용하도록 권고하고 있다.
- ○ 선량한도(Dose limits): 의료피폭에서는 환자에 대한 선량한도를 적용하지 않도록 권고하고 있다.

의료피폭의 경우 방사선 방어의 기본사항에 따라 선량한도는 적용되지 않는데, 그 이유는 환자가 의료용 방사선 피폭에 따른 손실보다 이득이 크기 때문이다. 만일 일반인의 피폭이나 종사자의 직업적 피폭에서 정한 선량한도를 환자치료에도 엄격하게 적용한다면 환자에 대한 의료행위 자체가 제한받게 되고, 이로 인하여 환자는 적절한 치료를 받지 못하게 되는 결과를 초래하게 된다. 따라서 방사선을 환자의 진료 및 치료에 이용하는 의사는 행위의 정당화와 방사선사용에 있어 최적화를 항상 염두에 두고 진료에 임해야 하며, 환자의 피폭선량을 줄이기 위해 환자선량을 합리적으로 최소화하려는 원칙을 항상 지키도록 노력하여야 한다.

이처럼 의료방사선 분야에서는 선량한도를 적용하는 대신 세계보건기구(WHO) 및 국제원자력기구(IAEA)등 6개 국제기구가 공동으로 의료피폭 저감화를 위하여 진단 엑스선 검사 시 환자가 받는 선량의 Guidance level을 마련하여 1996년에 Basic Safety Standards(BSS) No. 115를 권고하였으며, 2008년에는 ICRP publication 103을 마련하여 의료 방사선에 의한 환자방어의 최적화를 위해서는 진단참고수준(Diagnostic Reference Level, DRL)을 각 국가가 자국 실정에 맞게 운영

하도록 권고하고 있다.

진단참고수준(DRL)은 진단 엑스선 검사 시 환자가 받는 방사선량을 측정하고 평가하여 진단에 참고할 수 있도록 권고하는 방사선 선량수치로서 사용횟수가 많고 정기적인 검사에 대하여 설정한다. 이는 의료 피폭에 적용하는 것으로 일반화된 방사선방어의 최적화의 결과로서 전문기관에 의해 설정되는 권고이다. DRL은 임상에서의 문제가 되지 않는 적정범위에서 방사선 선량을 최소한으로 사용하도록 하며, 실제적으로 적용하기 위해서는 환자선량을 평가한 후, 환자 선량 분포 중에서 제3사분위수(Third quartile)를 기준하여 설정하도록 하고 있다.

중재적방사선시술은 진단을 위한 일반적인 방사선 검사와는 다르게 주로 장시간 방사선을 투시하면서 시술이 시행되고, 여러 차례의 혈관조영촬영까지 포함하게 되므로 일반적인 방사선 검사에 비하여 방사선 피폭에 대한 위험도 역시 증가할 수밖에 없다. 또한 중재적방사선시술은 같은 종류의 시술이라 할지라도 환자나 병변의 상태, 시술의 난이도나 정밀시술의 여부, 촬영장비의 조건, 시술자의 시술법이나 숙련도 등 여러 변수에 의하여 방사선 선량의 차이가 크다고 할 수 있다. 실제로 각종 연구조사에서도 중재적 시술의 방사선 피폭량은 국가별, 병원별로 매우 다양하게 보고되고 있으므로 이에 대한 진단참고수준을 제시하는 것은 무척 어려운 일이다.

중재적방사선시술 시 환자선량은 환자의 치료적 이익을 위하여 정당성이 확보된 방사선 피폭으로서 인위적으로 획일화하거나 규제하는 것은 가능하지 않지만, 시술자의 방사선 방어에 대한 인식과 피폭선량 저감화 노력에 따라 최소한의 환자선량으로 최대한의 치료효과를 환자에게 제공하는 것은 가능할 것이다.

4 외국의 중재적방사선시술 참고 기준(Reference level)

의료방사선 분야의 환자 피폭선량에 관한 연구는 국제적으로 많이 수행되고 있지만, 중재적방사선시술 분야에서는 시술의 다양성과 치료 목적의 방사선 이용이라는 특성 때문에 상대적으로 진단영역에 비해 연구결과의 발표가 제한적인 편이다.

투시방사선 기반의 검사 및 시술은 환자방사선량의 평가에 있어서, 선량면적곱(Dose Area Product, DAP 혹은 Kerma Area Product, KAP; $Gy \cdot cm^2$)을 주 측정 변수로 한다. 보고서마다 조사방법에 따른 차이가 있으나, 공통적으로 선량면적곱을 주요 조사변수로 선택하며, 그 외 같이 보고되는 항목으로는 투시시간, 방사선량(Gy), 획득 영상 수 등이 있다.

가) 영국

영국은 의료방사선 사용에 관한 데이터를 지속적으로 조사, 관리하는 대표적인 국가로 이미 1990년대에 전국적인 환자의 방사선량 측정값을 수집하기 위한 목적으로 국가 환자선량 데이터베이스를 구축하였고, 5-10년 간격으로 다양한 의료 방사선 검사 및 시술에 대한 국가 진단참고수준을 제안하였다.

최근에 출간된 환자선량에 관한 보고서의 경우, 영국 전역 320개의 의료기관에서 2006년 1월부터 2010년 12월까지 4년간 수집된 자료를 토대로 작성되었다(HPA 2012). 상기 보고서에서는 중재시술을 포함한 투시방사선촬영 및 일반방사선촬영 등에 대한 시술 종류별 관련 정보(환자의 나이, 몸무게, 성별, 관전압, 필터, 검사 조건), 피폭방사선량 분포도(입사면선량, 선량면적곱, 투시촬영장치 사용시간)를 제공하고 있다. 표 1은 상기 보고서의 일부를 발췌한 것으로, 영국의 중재시술에 대한 환자선량의 평균 및 3사분위를 요약하여 나타내었다.

표 1. 영국의 중재시술로 인한 환자의 선량면적곱 요약(HPA 2012)

방사선 촬영	선량면적곱 (Gy·cm^2)	
	평균	3사분위
Biliary Intervention	33	43
Facet Joint Injection	4	6
Hickman Line Insertion	2	3
Nephrostomy	8	13
Oesophageal Stent	13	13
Pacemaker (permanent)	7	7
PTCA 1 Stent	34	40

영국의 경우 수집된 결과를 바탕으로 5년 주기로 환자선량 분석을 수행하고, 이를 바탕으로 진단참고수준을 제안하고 있다. 그림 1에 영국의 환자선량 분포도 및 진단참고수준을 나타내었다. 진단참고수준은 환자선량 분포도의 3사분위에 해당하는 값으로 설정한다(HPA 2012). 각 그래프의 점선은 2005년 자료를 기반으로 설정된 진단참고수준이며, 실선은 2010년 자료를 기반으로 설정된 진단참고수준이다. 담도 중재시술(Biliary Intervention), 후관절주사(Facet Joint Injection), 심장박동기 설치술(Pacemaker Insertion), 경피경관적 관상동맥 혈관성형술(PTCA) 모두 2005년 대비 2010년 진단참고수준이 비슷하거나 감소한 것으로 나타났다.

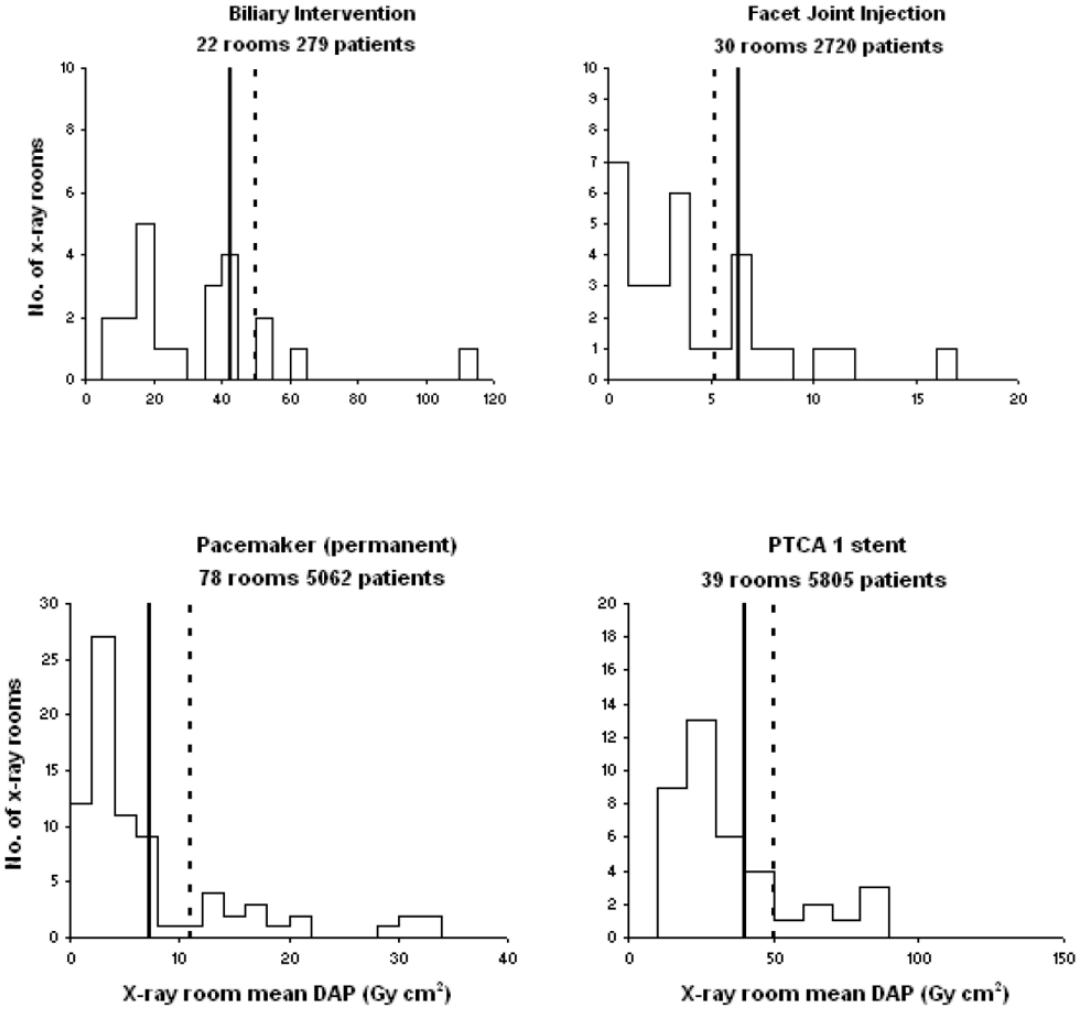


그림 1. 영국의 환자선량 분포도 및 진단참고수준(DAP);
(좌상) 담도 시술, (우상) Facet Joint Injection 시술,
(좌하) Pacemaker 삽입, (우하) PTCA 시술

나) 미국

미국은 1972년부터 국가 X-선 촬영 경향분석(NEXT, Nationwide Evaluation of X-ray Trend; NEXT)이라는 프로그램 아래 식약청의 CDRH (Center for Devices and Radiological Health), 방사선관리 프로그램 감독자 회의(CRCPD)의 협력에 의해 국가적으로 환자선량 정보를 수집하고 이를 보고하고 있다(CRCPD 1990).

1973년부터 1983년까지는 각각의 병원에 대해 일반적으로 수행되는 12가지 방사선촬영에 대한 환자의 피폭선량 관련 정보를 수집하였다. 1984년부터는 해마다 한 가지 방사선촬영을 지정해 놓고 자체 제작한 선량평가모의체를 이용하여 직접 방사선량을 측정하고 있다. 표 2는 환자선량 측정조사를 위해 각 연도별로 수행된 방사선촬영의 종류를 보여주고 있다. 초반에는 유방촬영, 일반촬영, 투시촬영을 중점적으로 조사하였으며, 최근 연구에서는 전산화단층촬영(CT), 소아 방사선촬영 등을 포함하고 있다.

표 2. 미국 NEXT 조사에 포함된 연도별 방사선촬영의 종류

연도	촬영종류	연도	촬영종류
1984	흉부 (Hospital)	1996	투시촬영
1985	유방촬영	1997	유방촬영 (MQSA)[a]
1986	흉부 (Private practice)	1998	소아 흉부
1987	복부/요・미추 (Hospital)	1999	치과촬영
1988	유방촬영	2000	전산화단층촬영
1989	복부/요・미추 (Private practice)		유방촬영 (MQSA)a
1991	투시촬영	2001	흉부
1992	유방촬영	2002	복부 (All)
1993	치과촬영		요・미추 (Private practice) (All)
1994	흉부 (Hospital)	2003	투시촬영
	흉부 (Private practice)	2005	전산화단층촬영
1995	복부/요・미추 (Hospital)	2008	심장 카테터법
	복부/요・미추 (Private practice)	2009	심장 카테터법
	카이로프래틱 장비		
	유방촬영 (MQSA)a		

a MQSA (Mammography Quality Standards Act)의 결과

미국에서는 중재적방사선시술과 관련하여 발생한 피부의 radiation injury가 보고된 후, FDA(Food and Drug Administration)의 요청으로 미국 인터벤션 영상의학회 (Society of Interventional Radiology) 주도 하에 중재적방사선시술 시 환자선량에 대한 연구가 진행되었다. 3년 동안 대학병원 규모의 7개 의료기관이 참여하여 다기관 연구(RAD-IR study)가 수행되었고, 2003년과 2004년에 걸쳐 결과가 발표되었다. 연구에 참여한 전체 병원에서 시행된 총 2,142건의 중재적 시술을 조사하여 환자선량에 관한 자료를 수집하였으며, 측정한 자료의 종류는 투시시간(fluoroscopic time), 영상매수(number of images), 면적선량(DAP), 누적선량(cumulative dose)이다. 다양한 종류의 색전술, Transjugular Intrahepatic Portosystemic Shunt(경경정맥간내문맥정맥단락술, TIPS), 신장동맥이나 장간막동맥 내 스텐트 삽입술에서 유의하게 환자선량이 높았고, 같은 종류의 시술이라도 각각 방사선 노출의 정도가 매우 다양하다고 보고되었다. 이상의 연구로부터 각 중재적방사선시술에서 환자 방사선량의 75 백분위수에 해당하는 진단참고수준(Reference level)을 정하여 아래와 같이 2009년도 Radiology 학술지에 발표하였다. 미국의 중재시술에 대한 진단참고수준은 2009년 Miller 등에 의해 수행되었으며 표 3에는 Miller 등이 제시한 중재시술 진단참고수준을 나타내었다.

표 3. Miller 연구에서 제시한 중재시술의 참조 값(Miller et al. 2009)

Interventional Radiography	Dose (Gy)	KAP ($Gy \cdot cm^2$)	시술 시간 (min)	영상 수
Transjugular intrahepatic portosystemic shunt creation	3	525	60	300
Biliary drainage	1.4	100	30	20
Nephrostomy				
For obstruction	0.4	40	15	12
For stone access	0.7	60	25	14
Pulmonary angiography	0.5	110	10	215
Inferior vena cava filter placement	0.25	60	4	40
Renal or visceral angioplasty				
Without stent	2	200	20	210
With stent	2.3	250	30	200
Iliac angioplasty				
Without stent	1.25	250	20	300
With stent	1.9	300	25	350
Bronchial artery embolization	2	240	50	450
Hepatic chemoembolization	1.9	400	25	300
Uterine fibroid embolization	3.6	450	36	450
Other tumor embolization	2.6	390	35	325
Gastrointestinal hemorrhage localization and treatment	3.8	520	35	425
Embolization in the head				
For AVM	6	550	135	1,500
For aneurysm	4.75	360	90	1,350
For tumor	6.2	550	200	1,700
Vertebroplasty	2	120	21	120
Pelvic artery embolization for trauma or tumor	2.5	550	35	550
Embolization in the spine for AVM or tumor	8	950	130	1,500

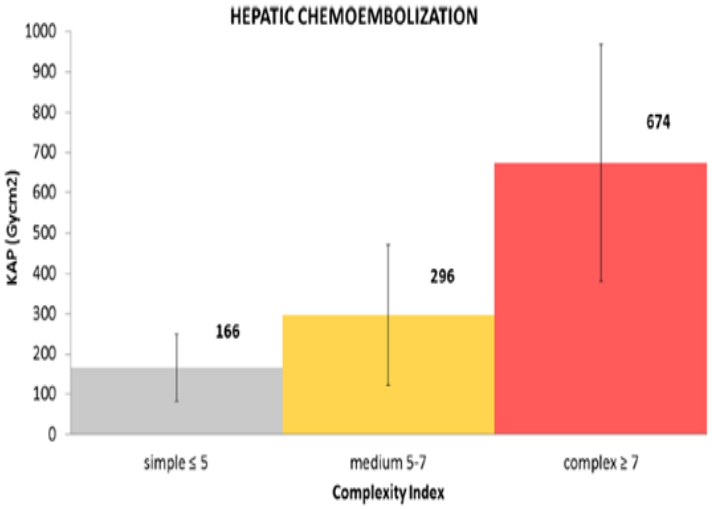
다) 스페인

스페인에서 2009년에 발표된 국가 진단참고수준에 대한 연구에서는 10개의 공공 병원이 참여하여 7가지의 다빈도 시술을 대상으로 분석하였으며, 각 시술 당 건수는 45~685건이었다. 결과로 제시한 수치로는 선량면적곱, 투시시간, 획득 영상 수가 있었다. 2016년에는 시술 복잡도를 고려하는 DRL에 대한 연구를 다시 발표하였는데, 8개의 대학병원에서 3년에 걸쳐서 조사한 9가지 종류 시술에 대한 시술당 31~784건의 자료를 분석하였다. 시술 복잡도는 사전 합의에 의해 결정된 복잡도 평가 항목에 대해서 시술의가 평가하였다. 일례로 Trans Arterial ChemoEmbolization(간암 화학색전술, TACE)에 대해서는 3가지 평가 항목: 해부학적 형태(혈관의 비틀림 정도, 혈관 기시부의 각도, 죽상경화증 정도), 해부학적 변이, 선택적 시술의 정도에 대해서 각 1~3점의 점수를 부여하였으며, 점수에 따라 단순, 중간, 복잡의 3단계 복잡도로 시술을 구분하였다(표 4). 예시에서 볼 수 있듯이 시술 복잡도에 따라 선량면적곱 수치의 차이가 있었으며, 단순 시술과 복잡 시술 사이에는 4배의 선량면적곱 수치 차이가 있었다.

표 4. 스페인 중재시술 방사선량 조사 결과: 간암 화학색전술(TACE)의 복잡도 정의 및 결과

5. Hepatic chemoembolization.

CI 1	By the anatomical characteristics (tortuosity, angulation of the origin of the vessel, atheromatosis) of the aorta and its branches:
1	*Easy*
2	*Medium difficulty*
3	*Very high difficulty*
CI 2	According to the configuration of the hepatic arteries or other branches:
1	*Standard*
2	*Accessory artery to a lobe*
3	*Accessory artery for both lobes*
CI 3	By the type of embolization:
1	*Lobar unilateral*
2	*Lobar bilateral or one supraselective*
3	*Two or more supraselective*



Ruiz-Cruces R et al., Diagnostic reference levels and complexity indices in interventional radiology: a national programme. Eur Radiol. 2016;26(12)4268-4276

라) 프랑스

프랑스에서는 2017년에 42개 기관에서 조사한 15가지 종류의 다빈도 시술에 대한 조사 결과를 발표하였다. 조사 기간은 18개월이었고, 각 시술당 환자 수는 42~695명이었다. 주된 수집 자료는 선량, 선량면적곱, 투시시간, 획득 영상 수였다. 일부 시술에 대해서는 시술 복잡도 분류에 따라 각각 방사선량 정보를 제시하였다(표 5). 또한 많은 선량을 사용하는 최신의 영상 기법인 C-arm 회전 혈관조영술(rotational angiography)의 시행 여부에 따라 방사선 노출량에 차이가 있는지 검증하였다(그림 2). 경향의 차이는 있으나 시술 중 일부는 선량면적곱, 투시시간, 선량, 획득 영상 수에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다. 연구자들은 최신 기법의 사용에 의한 조사 항목의 수치의 차이는 일반화가 필요한 진단참고수준 설정에는 고려하지 않았다고 명시하였다.

표 5. 프랑스 중재시술 방사선량 조사 결과: 시술 복잡도를 고려한 분석

Table 2 Number of procedures (*N*), number of departments (ND) and median value of the distributions of each dosimetric estimator (KAP, FT, $K_{a,r}$ and NI) for 4 types of procedure, and different levels of complexity

	N	ND	Median KAP ($Gy\ cm^2$) (1st q.; 3rd q.)	Median $K_{a,r}$ (mGy) (1st q.; 3rd q.)	Median FT (min) (1st q.; 3rd q.)	Median NI (1st q.; 3rd q.)
Cerebral angiography						
1 cerebral vessel	109	7	16.8 (11.3; 26.3)	108 (70; 218)	2.5 (1.8; 3.5)	102 (49; 300)
2 cerebral vessels	148	8	38.1 (19.7; 71.9)	244 (123; 462)	4.5 (3.0; 6.8)	187 (100; 306)
3 or more cerebral vessels	438	19	65.2 (34.5; 103.2)	456 (233; 723)	7.6 (4.7; 12.3)	320 (183; 462)
Lower limbs arteriography without stenting						
Without aortography	134	7	31.5 (19.4; 57.5)	57 (9; 145)	1.6 (1.0; 3.6)	161 (92; 234)
With aortography	59	4	59.1 (24.7; 169.8)	49 (8; 132)	4.0 (2.6; 7.2)	193 (70; 266)
Biliary drainage						
Without endoprosthesis	142	9	9.0 (3.0; 26.8)	38 (16; 145)	7.4 (3.0; 14.2)	1 (0; 4)
With endoprosthesis	165	11	19.0 (9.2; 43.1)	135 (56; 305)	10.5 (6.8; 17.5)	4 (0; 11)
Vertebroplasty						
1 vertebra	272	17	31.3 (14.4; 57.6)	306 (129; 605)	5.6 (3.8; 8.7)	16 (5; 362)
2 vertebrae	171	13	32.2 (17.3; 59.6)	324 (170; 644)	6.9 (5.1; 9.8)	11 (3; 321)
3 or more vertebrae	134	11	59.3 (25.7; 107.1)	610 (296; 1157)	10.2 (8.0; 14.0)	36 (5; 362)

Etard C et al., Patient dose in interventional radiology: a multicenter study of the most frequent procedures in France. Eur Radiol. 2017;27(10):4281-4290

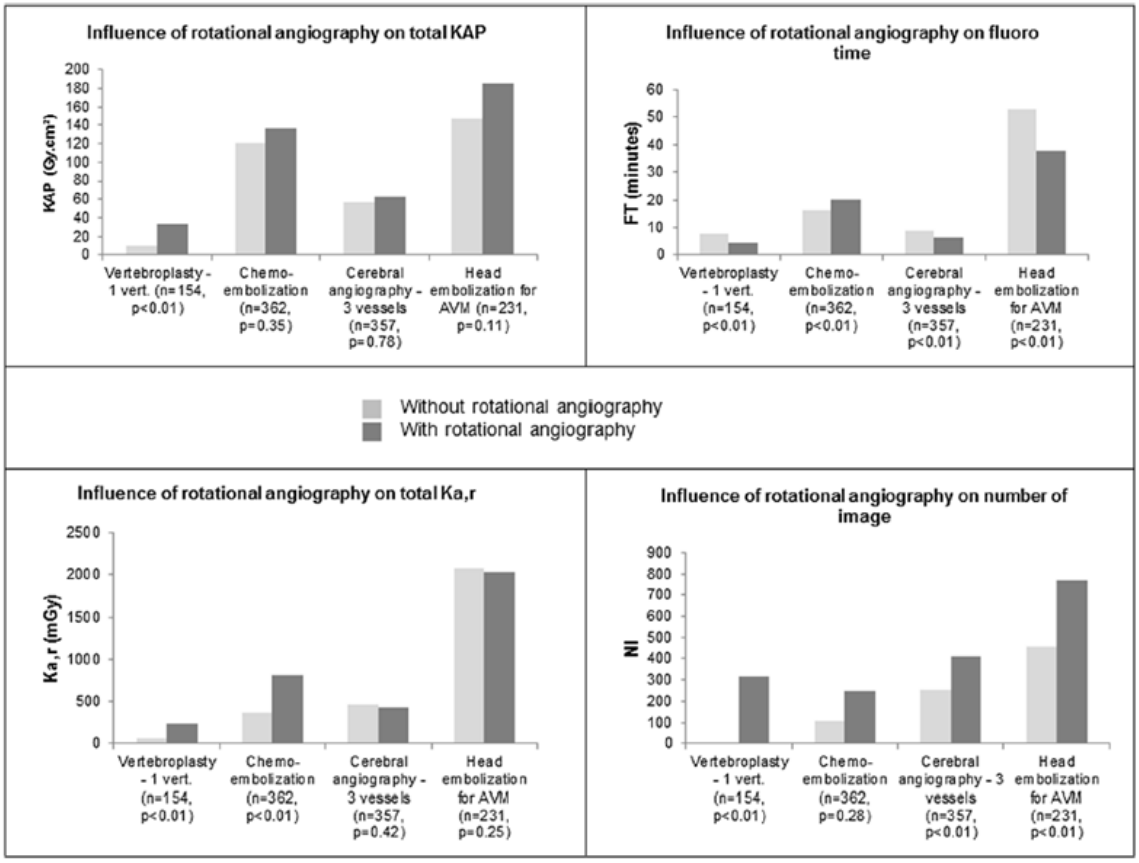


Fig. 1 Influence of the use of rotational angiography on the median values of KAP, FT, $K_{a,r}$ and NI for 4 procedures (vertebroplasty, hepatic chemoembolization, cerebral angiography and head embolization for AVM). *n* number of procedure, *p* result of Wilcoxon–Mann Whitney test

그림 2. 프랑스 중재시술 방사선량 조사 결과: c-arm 회전 전산화단층촬영의 영향

Etard C et al., Patient dose in interventional radiology: a multicenter study of the most frequent procedures in France. Eur Radiol. 2017;27(10):4281-4290

마) 독일

독일에서는 2003년 의료방사선 노출에 대한 국가 진단참고수준을 처음 발표한 이래, 2010년, 2016년, 2018년 개정 자료를 발표하였다. 최근 발표된 자료에서는 11가지 종료의 혈관계 중재시술에 대해서 선량면적곱, 투시시간의 각 사분위 수치를 발표하고 이를 기반으로 선량면적곱의 진단참고수준을 제시하였으며, 유효선량을 추가로 제시하였다(표6). German Federal Office for Radiation Protection, Institute for Applied Quality Improvement and Reasearch in Health Care (aQua institute), German Society of Interventional Radiology and Minimally invasive Therapy (DeGIR) 등의 다양한 정부 및 민간 기관에서 수년간 수집한 자료를 분석하였다고 명시하였으며, 본 연구와 연관성이 있는 부분에서는 다양한 부위의 혈관성형술에 대해 6년간 244개의 기관에서 65,000건 가량의 방사선 노출 자료를 수집하였다고 명시하였다.

표 6. 독일 중재시술 방사선량 조사 결과

▶ **Table 4** 25th, 50th and 75th percentiles of the distribution of the DAP and fluoroscopy times of interventional-radiologic procedures in adults as well as the updated DRLs and the corresponding rounded effective doses. Dose-related parameter values and effective doses correspond to the whole intervention.

type of interventional-radiologic procedure	DAP [cGy·cm² or µGy·m²]	fluoroscopy time [min]	DAP [cGy·cm² or µGy·m²]	fluoroscopy time [min]	DAP [cGy·cm² or µGy·m²]	fluoroscopy time [min]	DRL[1] [cGy·cm² or µGy·m²]	D_{eff} [mSv]
	25th percentiles		50th percentiles		75th percentiles			
thrombus aspiration after stroke (recanalization of cerebral arteries)	5100	12	9100	21	15 800	35	18 000	11
coiling of a cerebral aneurysm (EVAR of the cerebral artery)	7400	21	12 100	34	19 200	54	25 000	16
PCI	2000	5.2	3400	9.3	4900	13	4800	9
combined CA and PCI	2800	5.9	4000	9.5	5500	13	5500	10
TAVI	2500	7.9	4900	12	8200	18	8000	15
EVAR								
• thoracic aorta	4700	7	11 400	12	20 300	19	23 000	28
• infrarenal abdominal aorta	5500	14	10 800	21	20 300	33		32
• suprarenal abdominal aorta	4700	14	9500	26	21 800	52		36
TACE	6200	11	12 100	17	22 400	25	23 000	39[2]
PTA of								
• pelvis	2200	7	4400	10	8700	17	9000	23
• thigh and knee	800	7	1500	11	3500	18	4000	10
• lower leg and foot	600	9	1000	17	2000	31	2500	6

PCI: percutaneous coronary intervention, TAVI: transcatheter aortic valve implantation, EVAR: endovascular aneurysm repair, TACE: transarterial chemoembolization, PTA: percutaneous transluminal angioplasty.
[1] The DRL refers to the dose-area product (DAP).
[2] The effective dose for TACE refers to a procedure in the liver.

Schegerer A et al., Diagnostic reference levels for diagnostic and interventional X-ray procedures in Germany: update and handling. Rofo. 2019;191(8):739-751

바) 일본

일본은 대부분의 의료선진국과 다르게 중재시술에 대하여 개별 시술에 대한 수치를 제시하거나 선량면적곱 기반의 수치를 제시하고 있지는 않다.

미국 및 유럽 등 대부분의 나라에서는 진단참고수준을 설정할 때 시술별 선량을 평가하고 있으나, 일본에서는 중재시술의 진단참고수준을 장비에서 팬텀으로 입사되는 선량률로 단순하게 평가하고 있으며, 시술 기준 위치에서 20 mGy/min의 시간당 흡수선량을 진단참고수준으로 제시하였다.

사) 종합적 고려사항

중재시술 분야의 진단참고수준 설정은 각 나라의 실정에 맞게 조사 방식과 대상이 되는 중재시술을 설정하였으며, 조사 항목에도 서로 차이가 있다. 조사 전략으로는 자발적인 의료기관의 보고에 의존하거나, 일괄적으로 국가 기관이나 연관 학회에서 정보를 상시 수집하거나, 조사를 위한 연구팀을 꾸려서 조사하는 등 다양한 방식이 진행하였다. 조사 항목은 환자나 시술 정보 등 자세한 내용을 어느 정도 포함하는지에 대한 차이는 있으나 일본을 제외하고는 대부분 선량면적곱과 투시시간을 조사하며, 그 외 추가로 획득 영상 수, 흡수선량 등이 포함되기도 한다. 세부 분석을 위해서 검사 범주나 시술 복잡도를 고려하거나 많은 양의 방사선을 사용하는 것으로 알려진 C-arm 회전 CT 여부를 고려하는 등의 전략을 취하기도 하지만 그러한 내용은 연구목적의 보고에 많고, 실제 국가 수준의 진단참고수준에 이러한 세부 분석 내용을 포함하는 경우는 거의 없다.

ICRP 135 보고서에서는 시술 복잡도를 고려하는 것을 권장하고 있으므로, 세부 진단참고수준을 설정하는 것이 중재시술의 다양성을 보정하고 보다 개별적인 환자에 활용할 수 있는 구체적 정보를 줄 수 있을 것이다. 그러나 이를 통해 국가적인 대표성을 가지는 결과를 얻기 위해서는 보다 많은 재원을 투자하고 장기간 다량의 정보를 취합하여 분석해야 하므로, 현실적인 제한점과 이러한 조사를 통한 이득의 경중을 모두 고려해야할 것이다.

5 국내에서 측정된 중재적방사선시술시의 환자선량에 대한 데이터

국내의 경우 1980년대 전국 의료기관을 대상으로 환자선량 측정 연구가 수행되었으나, 이는 방사선피폭에 의한 환자의 위험도를 예측하기 위한 것이었다(국립보건원 1984, 1987). 최근 들어 의료방사선에 의한 환자의 방사선 피폭에 대한 관심이 증대되면서 질병관리청을 중심으로 검사별 환자선량 조사 및 진단참고수준에 대한 연구 및 활동을 활발히 진행하고 있다.

진단참고수준에 대한 연구는 2007년에 수행된 유방촬영 시 환자선량 진단참고준위 확립에 관한 연구를 시작으로 일반촬영, 전산화단층촬영(CT), 투시촬영, 중재시술, 치과촬영 순으로 수행되었다. 현재까지 다양한 의료방사선에 대한 환자선량 조사가 실시되었으나, 이 중 국내에서 중재적방사선시술에 대한 진단참고수준이 설정된 것은 2012년이 처음이다(식약청 2012). 2012년에 국내에서 수행되었던 중재적방사선시술에 대한 국내 환자선량 조사 및 진단참고수준 내용을 아래와 같이 요약하여 정리하였다(표 7~9).

표 7. 국내 중재적방사선시술에서의 환자선량 분포(2012)

	Numbers		Mean DAP distribution (Gy · cm^2)					
Procedure	Hospitals	Patients	Mean	Min.	Max.	1st Quartile	Median	3rd Quartile
TACE	22	3139	191.1	8.5	1678.8	100.6	152.7	237.7
AVF	9	234	14.1	0.2	113.1	6.0	10.9	17.3
L/E PTA & Stent	13	278	85.4	1.3	571.0	21.6	54.9	114.1
TFCA	18	2083	149.6	0.1	685.5	86.8	124.6	188.5
Aneurysm Coil	15	320	316.9	35.8	3080.5	169.3	237.1	383.5
PTBD	15	566	36.1	0.3	1290.8	8.5	18.7	37.5
Biliary Stent	21	118	47.4	0.7	289.4	15.2	27.4	64.6
PCN	13	219	19.0	0.5	189.1	5.8	11.5	22.4
Hickman	15	519	4.0	0.03	75.3	1.1	2.1	4.3
Chemoport	20	479	2.1	0.01	31.7	0.6	1.4	2.8
Perm-Cath	17	460	3.7	0.02	37.4	0.7	2.0	4.4

표 8. 국내 중재적방사선시술에서의 투시시간 분포(2012)

Procedure	Numbers		Mean fluoroscopy time distribution (sec)					
	Hospitals	Patients	Mean	Min.	Max.	1st Quartile	Median	3rd Quartile
TACE	22	3139	935.6	32.0	5775.0	486.0	789.0	1224.0
AVF	9	234	649.8	30.0	3715.0	319.5	546.0	786.1
L/E PTA & Stent	13	278	1090.8	42.0	5897.0	447.2	788.0	1460.4
TFCA	18	2083	599.9	16.0	6636.0	316.5	479.0	686.0
Aneurysm Coil	15	320	2325.5	250.0	16878.0	1016.8	1665.0	2975.8
PTBD	15	566	379.3	16.0	6777.0	126.5	228.0	427.5
Biliary Stent	21	118	606.5	30.0	2493.0	313.3	466.5	759.8
PCN	13	219	222.9	8.0	1643.0	91.5	154.0	236.0
Hickman	15	519	51.3	5.0	987.0	17.0	30.0	54.0
Chemoport	20	479	34.1	5.0	428.4	12.0	24.0	43.0
Perm-Cath	17	460	56.3	2.0	507.0	9.6	28.0	67.8

표 9. 국내 중재적방사선시술시 환자선량 참고기준(2012)

Procedure	DAP (Gy · cm^2)	Fluoroscopy time (sec)
TACE	237.7	1224.0
AVF	17.3	786.1
L/E PTA & Stent	114.1	1460.4
TFCA	188.5	686.0
Aneurysm Coil	383.5	2975.8
PTBD	37.5	427.5
Biliary Stent	64.6	759.8
PCN	22.4	236.0
Hickman	4.3	54.0
Chemoport	2.8	43.0
Perm-Cath	4.4	67.8

6 2019년 국내측정 환자선량 데이터 및 진단참고수준(Reference level)

가. 측정대상 병원

본 연구는 국내에서 중재시술을 활발히 시행하는 의료기관을 대상으로 수행하였으며, 수도권 28개 병원, 충청권 3개 병원, 영남권 8개 병원, 호남권 3개 병원, 강원권 2개 병원 및 제주권 2개 병원으로 총 46개 병원에서 중재시술관련 선량평가를 시행하였다(표 10).

표 10. 측정대상병원

권역별	서울	경기	충청	영남	호남	강원	제주	합계
병원수	17	11	3	8	3	2	2	46

나. 선량평가 대상 시술 선정

세계의 각 나라마다 그 나라에서 호발 하는 주요 질환이나 암의 종류가 다르고, 환자들의 인종적, 생물학적 특성도 다르기 때문에, 각 나라마다 시행되는 주요 중재시술의 종류나 내용도 서로 차이가 있을 수밖에 없다. 이번 연구에서는 국내에서 행해지는 중재시술 중 비교적 시술건수가 많거나, 시술시간이 길어 방사선 방어와 관련 중요도가 높은 시술 11가지를 측정대상으로 선정하였다. 측정대상 선정 이유는 다음과 같다.

1) 간암 경동맥화학색전술(Transcatheter Arterial ChemoEmbolization; TACE)

우리나라에서 많이 발생하는 간암은 간염의 합병증으로 생기는 경우가 많으며 초기에 진단하고 치료되지 않으면 예후가 매우 좋지 않은 질환이다. 치료방법으로는 외과적 간 절제술이 시행되고 있으나, 영상의학과에서 시행하는 중재시술 중 하나인 TACE로 외과적 절제술 못지않은 결과를 얻을 수 있다.

TACE는 가느다란 카테터로 간암에 영양을 공급하는 간동맥 혈관을 선택하여 항암제를 주입함으로서 간암을 괴사시키는 시술이다. TACE는 정상 간 조직은 크게 손상시키지 않으면서 암 조직만을 선택적으로 괴사 시킬 수 있는 장점이 있다.

시술방법은 서혜부(사타구니)에 위치한 대퇴동맥을 통하여 카테터라고 하는 약 1.5 mm정도의 관을 삽입하여 간동맥에 접근한다. 간동맥으로 카테터가 들어가면 혈관 조영제를 주사하여 간동맥 조영사진을 얻어 종양의 위치, 크기 및 혈액공급 양상 등 치료에 필요한 정보를 얻는다. 치료방향이

정해지면 약 1 mm정도 굵기의 미세 카테터를 이용하여 종양으로 가는 동맥을 선택하여 항암제와 색전물질을 주입하여 시술하게 된다. 시술은 보통 1~2시간 정도 걸리지만 환자의 혈관분지 양상과 종양의 동맥분지 분포가 복잡하면 좀 더 많은 시간이 소요될 수 있다. 이 시술은 전신마취와 개복술에 따르는 위험이 없고, 치료 후 회복되는 기간이 짧으며 수술이 불가능한 경우에도 시술이 가능한 장점이 있다.

간암의 치료는 재발이 흔하므로 보통 여러 번의 치료를 요하게 되며 그 기간 과 횟수는 환자의 상태 및 병의 진행정도에 따라 다르다.

우리나라에서 많이 시행되는 가장 대표적인 중재적시술이며, 비교적 시술시간이 길고, 여러 번의 반복시술이 필요하기 때문에 환자의 피폭선량에 관한 정보가 상당히 중요하므로 이번 측정대상에 포함되었다.

2) 투석용 동정맥루 중재적 시술(Intervention for hemodialysis Arteriovenous Fistula; AVF)

만성신부전증 환자의 혈액투석을 위하여 전완부에 동정맥 인공혈관 또는 동정맥루(AVF)를 설치하여 혈액투석의 경로로 사용되고 있다. 사용방법, 기간에 따라 협착, 혈전 등이 발생되어 사용을 못하는 경우 혈관성형술 또는 혈전용해술을 시행하여 혈액의 흐름을 원활이 해주는 시술도 시행된다. 짧게는 3개월에서 1년 정도씩 간격을 두고 반복적으로 시술하는 경우가 적지 않아 이번 측정대상에 포함시켰다.

3) 하지 혈관질환의 중재적 시술(Intervention for peripheral arterial occlusive disease; Lower Extremity PTA & stent)

최근 고령의 당뇨환자들이 점차 많아지면서, 하지 혈관의 폐색성 혈관 질환(peripheral arterial occlusive disease)환자들도 함께 증가하고 있다. 말초 폐색성 혈관 질환에 의한 사지 허혈(limb ischemia)은 사지로 공급되는 혈류공급 장애로 말미암아, 사지말단의 근·골격계가 필요로 하는 충분한 혈류를 공급받지 못하기 때문에 발생한다.

과거에는 운동요법이나 단순한 수술적 우회술, 절단술만이 가능하였으나, 최근에는 새로운 시술방법과 도구들이 개발되면서 하지혈관에 대한 중재시술이 점차 증가하는 추세이다. 초기에는 장골동맥 등 비교적 큰 혈관들에 대해서만 중재시술이 가능하였으나, 미세도구들의 개발과 함께 무릎이하의 작은 동맥들에 대해서도 중재시술이 많이 행해지고 있다. 하지만 미세하고 복잡한 혈관질환을 치료하게 되면서, 시술시간도 길어지고 시술회수도 많아져, 이와 관련된 방사선피폭에 대한 관심이 점차 높아지고 있기 때문에 이번 측정대상에 포함시켰다.

4) 뇌혈관조영술(Transfemoral Cerebral Angiography; TFCA)

TFCA는 뇌혈관조영술로 뇌혈관계의 질환이 의심될 때 진단목적으로 시행하는 검사로서 신경계

질환 환자에서 상당히 많이 시행되고 있는 대표적인 검사 중의 하나이기 때문에 이번 측정대상에 포함시켰다.

5) 뇌동맥류 코일 색전술 (Coil Embolization for Cerebral Aneurysm; Aneurysm Coil)

뇌동맥류란 뇌동맥이 꽈리모양으로 풍선처럼 부풀어 오르는 것으로 동맥류가 파열 되면 출혈성 뇌졸중(중풍)을 일으키게 된다. 동맥류가 발생되는 원인은 동맥경화증, 감염, 외상성과 심장질환 등이 원인이며 주로 혈관이 분지하는 부위에 많이 발생한다. 뇌동맥류는 전체인구 중 4~5 %에서 발생되며, 일생 중 1 % 미만의 인구가 뇌동맥류 파열에 의한 뇌출혈이 발생하고, 0.5 %는 뇌출혈로 인하여 사망하는 것으로 알려져 있다.

뇌출혈이 발생되면 출혈량 및 출혈의 위치에 따라 심한 두통 및 의식장애, 언어장애, 운동장애 등이 발생하며 심한 경우 치료 전 사망에 이를 수 있다. 뇌동맥류에 의한 출혈은 24시간 이내에 재 출혈할 가능성이 가장 높으며 재출혈에 의한 사망률은 매우 높으므로 빠른 치료가 요구되는 질환이다. 치료방법으로는 외과적인 동맥류 결찰술이 많이 시행되고 있으나 동맥류가 발생한 위치나 환자 상태에 따라 수술이 어려운 경우도 있어 중재적 시술도 시행하고 있다.

뇌동맥류의 중재적 시술의 경우 동맥류가 발생한 혈관 내에 백금 코일(철사)을 삽입하여, 동맥류로 가는 혈류를 차단함으로써 재출혈을 방지하게 된다. 이 시술은 두개를 절개하는 외과적 수술보다 간단한 방법이며, 환자의 회복기간이 짧은 장점이 있다. 시술의 부작용으로는 동맥류의 위치나 형태에 따라 시술이 실패할 수 있고, 시술도중 동맥류가 파열될 수 있으며, 색전증 등이 발생할 수 있으나 그 확률이 낮기 때문에 대부분의 환자에서 좋은 결과를 기대할 수 있다.

이처럼 좋은 장점에도 불구하고 시술시간이 상당히 길고, 여러 번의 혈관조영술이 필요하기 때문에, 일부 환자에게서 일시 탈모가 발생하는 경우가 있을 정도로 환자에게 미치는 선량이 많을 것으로 판단되어 이번 측정대상에 포함시켰다.

6) 경피경간 담즙배액술(Percutaneous Transhepatic Biliary Drainage; PTBD)

담즙을 체내로 배출시키는 담도 또는 담도와 연결된 장기인 담낭, 췌장 등에 염증, 결석 그리고 종양 등이 발생하여 도관이 막혔을 경우에 시행되는데, 3 mm정도의 카테터를 체외에서 삽입하여 간 내의 담도에 위치시킴으로써 정상적으로 배출되지 못하는 담즙을 체외로 배출시키는 시술이다. 복부의 비 혈관성 중재시술 중에는 가장 많은 빈도로 시행되는 대표적인 시술이기 때문에 이번 측정대상에 포함시켰다.

7) 담도 스텐트설치술 (Biliary stent placement; Biliary stent)

담도암 등에 의한 담도폐쇄 시에 담즙배액을 위한 치료로 PTBD를 시행한다. 그러나 PTBD는 체외카테터를 가지고 있기 때문에 일시적인 담즙배액에는 효과가 있지만 장기적으로 카테터를

유지하는 과정에서 많은 문제가 발생한다. 체외카테터로 인한 문제점을 해결하기 위하여 담도폐색 부위에 위치시켜 담즙을 체내로 배액 할 수 있도록 하는 담도 스텐트가 개발되어 현재 널리 사용되고 있다. 담도 스텐트 설치술은 수술이 불가능한 악성 담도폐쇄의 고식적 치료방법으로 인정되고 있다.

8) 요로 폐색에 대한 신루설치술(Percutaneous Nephrostomy; PCN)

Nephrostomy는 비혈관계 중재적 시술의 기본적인 시술 중 하나로, 요로폐쇄 환자에서 안전하고 효율적인 치료방법이다. Nephrostomy는 수술에 비하여 전신마취를 피할 수 있고, 효과가 빠르며, 합병증이 적다는 장점을 가지고 있다. 시술방법은 환자가 엎드린 자세에서 등쪽으로 접근하여 콩팥의 renal calyx를 천자한 다음 배액 카테터를 삽입한다.

9) 히크만 카테터 삽입술 (Hickman catheter insertion)

Hickman catheter는 터널식 주입용 카테터의 일종으로 관 내강이 가늘며, 카테터의 길이가 충분히 길어서 환자의 조건에 맞추어 카테터를 필요한 길이로 잘라서 사용할 수 있다. 주로 실리콘 재질이고, 성인은 10~12 F 크기가 주로 사용되며 전신항암요법(Total Parenteral Nutrition, TPN), 장기 항생제 치료 등에 이용된다. 최근 시술건수가 증가하여 이번 측정대상에 포함시켰다.

10) 항암제주입용 포트 삽입술 (Chemoport insertion)

터널식 카테터와 비슷하나, 카테터와 부속장치 전체를 심는다는 것이 다르다. 즉, 카테터에 막을 가진 둥근 지붕형태의 포트에 연결하고 그 전체를 피하에 심는다. 주기적인 항암화학요법이 필요한 경우에 아주 적합하다. 암환자의 증가와 함께 점차 많이 시술되고 있어 이번 측정대상에 포함시켰다.

11) 기관지 동맥 색전술 (Bronchial Artery Embolization; BAE)

결핵, 폐암, 기관지확장증 등으로 1회 또는 수회에 걸쳐 많은 양의 객혈이 있는 환자의 기관지 동맥을 선택하여 색전술을 시행한다. 안전한 시술을 위하여 척수동맥과 측부순환동맥을 계속 확인해야 하므로 환자선량의 증가가 예상되어 이번 측정대상에 포함시켰다.

다. 중재시술 선량 평가

국제방사선방호위원회(ICRP)에서는 중재시술 및 진단방사선 장치에 대한 측정 방사선량으로 입사공기커마(EAK, Enterance Air Kerma), 선량면적곱(DAP, Dose Area Product), 기준공기커마(RAK, Reference Air Kerma)를 사용하도록 제시하고 있다(의료기기정보기술지원센터 2013). 선량면적곱(DAP)은 엑스선 빔 중심축 수직으로 단면을 잘랐을 때의 단면적의 넓이와 입사공기커마를 곱한 값으로 정의된다.

선량면적곱은 실제 환자가 노출된 조사 면적에 대한 정보를 제공할 수 있다. 선량면적곱은 엑스선관 방출구에 면적선량계(DAP meter)를 위치시켜 측정하거나, 공기커마에 조사 면적을 곱하여 계산할 수 있다.

중재시술별로 환자선량 평가를 위하여 11개 대상시술에 대한 투시시간 및 면적선량을 각각 수집하였으며, 수집방법은 시술 후 장치에서 제공하는 선량보고서에 입력된 투시시간과 시술과정에서 투시와 촬영에 입사된 총 면적선량을 기록하였다.

각 병원에서 수집된 자료를 ICRP 103에서 진단참고준위 설정방법에 따라 분석하였다.

라. 환자선량 평가결과

총 46개 병원에서 10,006개 시술에 대한 투시시간(fluoroscopy time)과 면적선량에 대한 자료를 얻었고, 이에 대한 기술통계적 분석을 시행하였다. 46개 병원을 대상으로 하였으나, 병원별로 주요 환자군이 달라, 각 병원별로 많이 시행하거나, 혹은 아예 시행하지 않는 시술도 있기 때문에 시술별 병원의 수는 차이가 있다.

결과 표시는 전체결과의 평균값과 25 %, 50 %, 75 % 그리고 93 % 순위에 대한 결과를 표시하였다. ICRP에서는 진단참고수준으로 75 % 결과를 제시하기를 권고하고 있다.

표 11은 11개 시술별 투시시간의 결과이다. 대상 시술에서 간세포암을 치료하는 TACE 시술이 21.5 %이며, 담도에 폐쇄증상이 있을 때 시행하는 PTBD와 Biliary stent 시술이 14 %로 전체 시술에서 간담도계 시술이 35 %이상을 차지하고 있다. 신경계 혈관에 대한 검사 및 코일색전술 시술이 19 %를 차지하며 중심정맥에 카테터를 삽입하는 Hickman과 Chemoport 시술이 총 24 %이다.

평균 투시시간은 Aneurysm coil이 2,339초(40분)으로 가장 길었으며, 그 다음은 BAE 1,212초(20.2분), TACE 1,097초(18.3분)이었다. 11개 대상시술 중 투시시간13분 이상인 시술이 6개이다. Aneurysm coil의 경우 동맥류의 크기에 따라 삽입되는 코일의 개수가 증가하므로 투시시간이 다른 시술에 비해 길게 나타났고, 실제 시술시간도 가장 긴 시술 중의 하나이다. BAE와 TACE는 미세한 혈관을 선택하여 색전술을 시행하므로 투시시간이 평균 약 20분이었다. 평균투시시간이 가장 짧은 시술은 중심정맥에 카테터를 삽입하는 Hickman과 Chemoport 시술로 각각 33초와 37초였다. 이는 시술자들이 선량을 줄이기 위하여 카테터의 길이를 측정할 때와 카테터를 위치시킬 때만 짧게 투시를 작동하기 때문이다. 75 % 투시시간은 평균투시시간 대비 Aneurysm coil이 2,919초(48.7분)로 19.9 % 증가되었다, 또한 BAE 1,616초(26.9분)는 25.0 %, TACE 1,451초(23.0분)는 20.5 % 증가하였다. 증가폭이 크다는 것은 시술별 투시시간의 다양성을 의미한다.

표 11. 시술 별 투시시간 결과

Procedure	Numbers		Fluoroscopy Time Distribution (sec)				
	Hospitals	Patients	Mean	25%	50%	75%	93%
TACE	38	2,182	1,097	611	936	1,379	2,213
PTBD	33	1,048	353	123	218	431	944
Biliary stent	20	309	836	372	618	978	2,015
AVF (U/E)	25	473	632	272	487	861	1,440
TFCA	30	1,449	828	358	575	927	1,973
Aneurysm coil	19	435	2,339	1,282	1,871	2,919	4,872
L/E intervention	16	394	1,015	278	715	1,408	2,644
PCN	32	978	178	65	107	191	453
Hickman	21	1.003	33	16	22	36	78
Chemoport	25	1.400	37	16	24	41	82
BAE	24	335	1,212	637	1,073	1,616	2,468

표 12의 시술별 평균 면적선량 평가결과 투시시간이 가장 길었던 Aneurysm coil이 평균면적선량이 가장 높았다. 반면 세 번째로 투시시간이 길었던 TACE의 평균 면적선량은 154.9 Gy·cm^2 이었으며, 두 번째로 투시시간이 길었던 BAE는 85.1 Gy·cm^{2}로 TACE보다 평균 면적선량이 낮게 측정되었다. 이는 BAE의 경우 X선 감쇄가 작은 흉부를 조사야로 하는 반면, TACE의 경우 X선 감쇄가 큰 복부를 주된 조사야로 할뿐만 아니라, 추가로 방사선을 사용하는 C-arm CT 시행이 동반되는 경우가 많기 때문일 것으로 판단된다.

75 % 면적선량은 평균 면적선량 대비 Aneurysm coil은 214.3 Gy·cm^2 로 20.5 % 증가되었다. 또한, TACE는 206.4 Gy·cm^2 로 25.0 %, BAE는 104.0 Gy·cm^2 로18.2 % 증가하였다. 그리고 75 % 투시시간이 다섯 번째였던 TFCA는 121.9 Gy·cm^{2}로 75 % 면적선량에서는 세 번째로 높게 평가되었다. TFCA의 경우 75 % 면적선량은 평균면적선량 대비 23.0 % 증가되었다.

표 12. 시술 별 면적선량 결과

Procedure	Numbers		DAP Distribution(Gy·cm^2)				
	Hospitals	Patients	Mean	25%	50%	75%	93%
TACE	38	2,182	154.9	70.5	124.4	206.4	340.4
PTBD	33	1,048	19.4	3.9	8.8	22.3	60.8
Biliary stent	20	309	47.8	14.1	31.9	60.4	127.7
AVF (U/E)	25	473	13.4	2.9	5.8	12.3	36.6
TFCA	30	1,449	93.4	41.4	73.5	121.9	210.5
Aneurysm coil	19	435	160.0	69.7	125.3	214.3	364.4
L/E intervention	16	394	37.5	7.3	20.0	42.9	105.4
PCN	32	978	6.8	1.4	3.1	7.0	18.2
Hickman	21	1.003	1.8	0.5	1.0	2.1	4.5
Chemoport	25	1.400	1.5	0.4	0.7	1.4	3.5
BAE	24	335	85.1	29.5	55.0	104.0	211.2

마. 중재시술 종류별 피폭선량 정보 분포 및 진단참고수준

그림 3~4은 중재시술 시 피폭선량 데이터 분석 결과를 이용하여 시술 종류별 선량면적곱, 투시 시간 분포와 진단참고수준(3사분위)을 나타내었다.

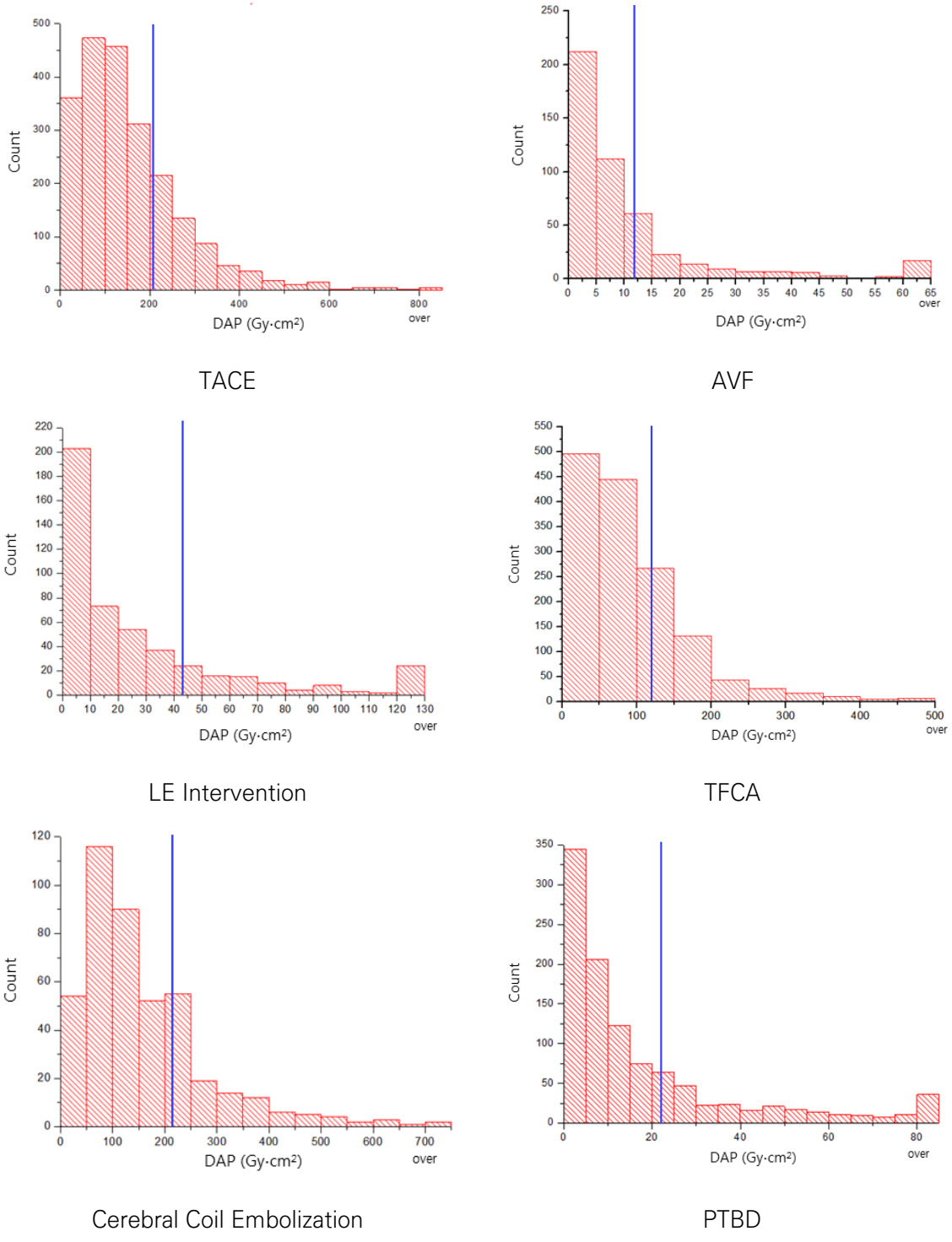
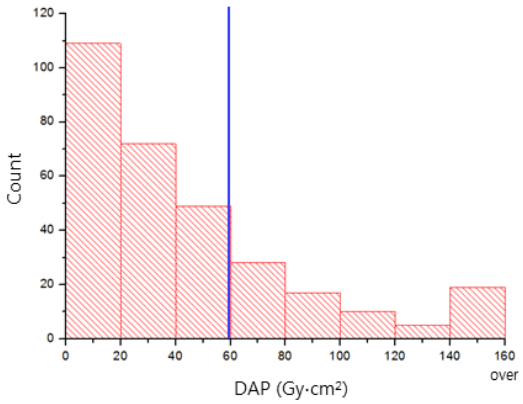
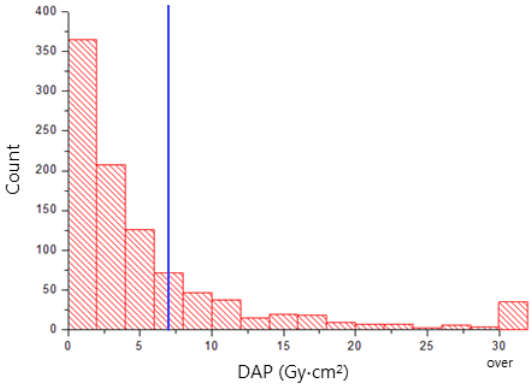


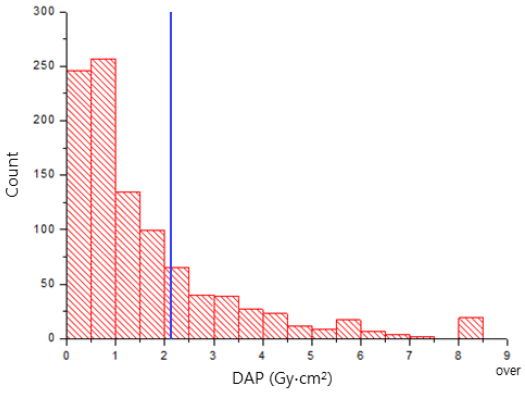
그림 3. 중재시술 종류별 선량면적곱 분포와 진단참고수준



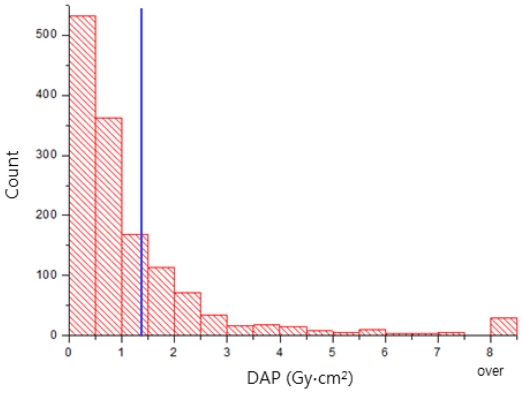
Biliary Stent



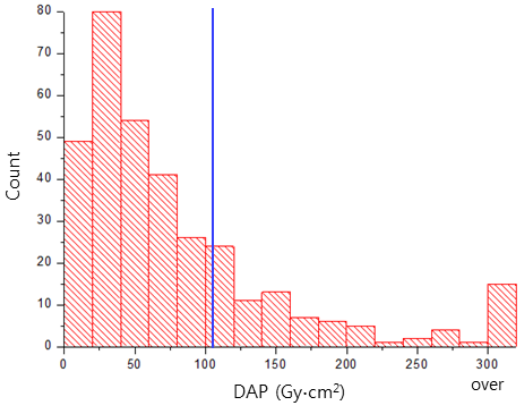
PCN



Hickman Catheter Insertion

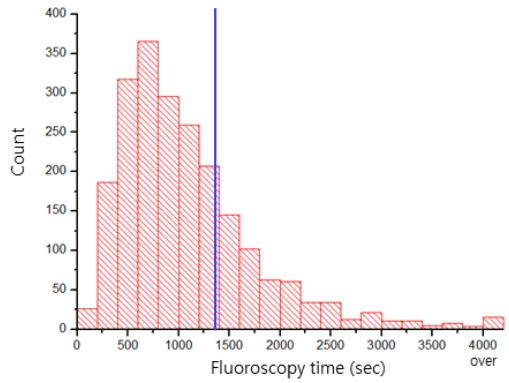


Chemoport Insertion

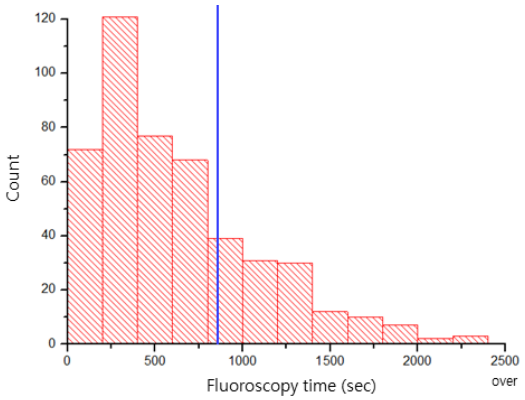


BAE

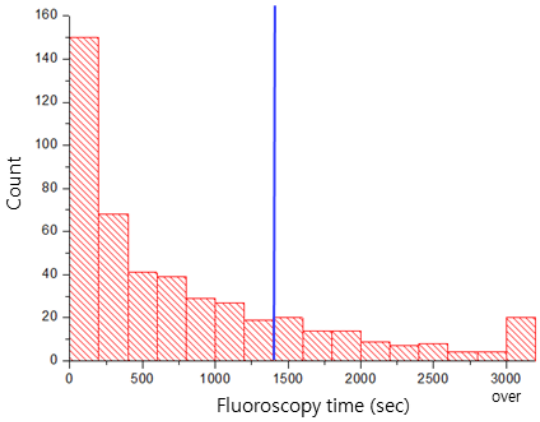
그림 3. 중재시술 종류별 선량면적곱 분포와 진단참고수준 (계속)



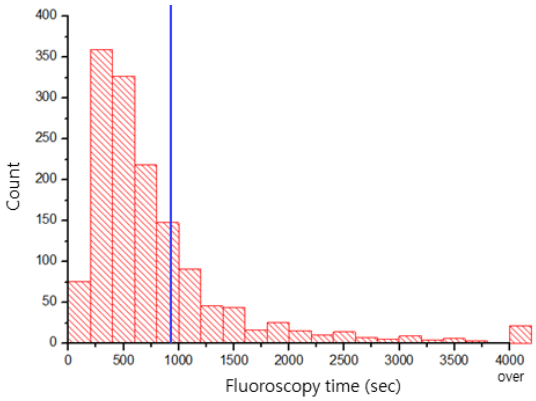
TACE



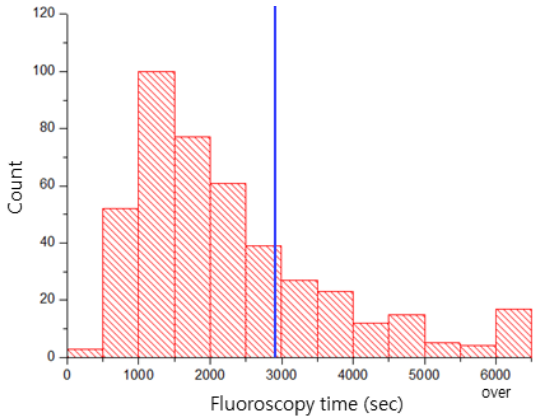
AVF



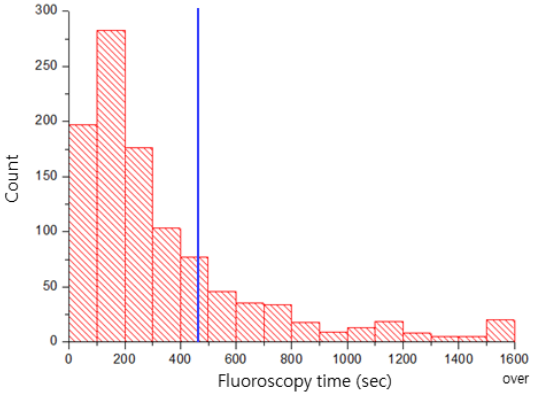
LE Intervention



TFCA

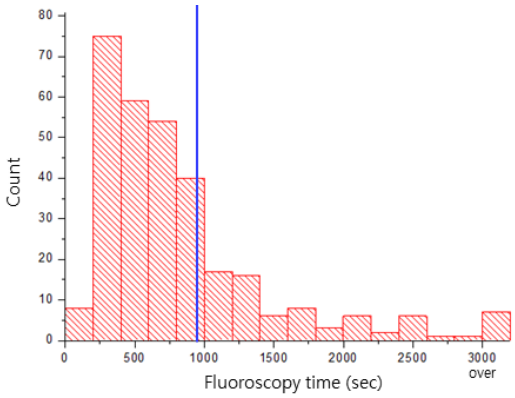


Cerebral Coil Embolization

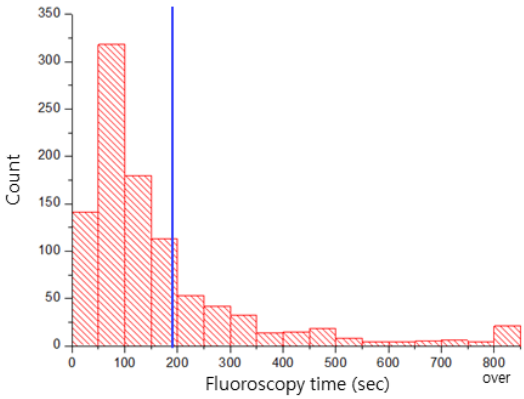


PTBD

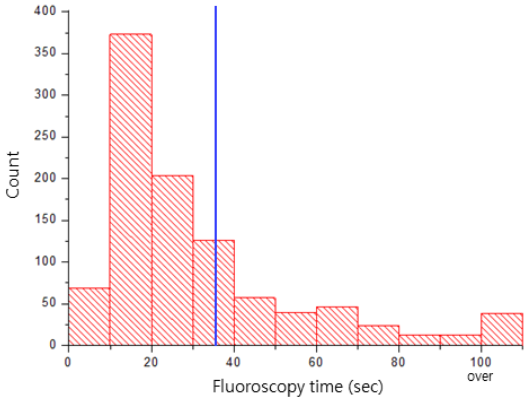
그림 4. 중재시술 종류별 투시시간 분포와 진단참고수준



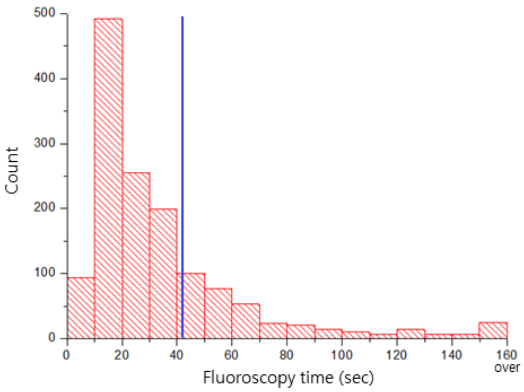
Biliary Stent



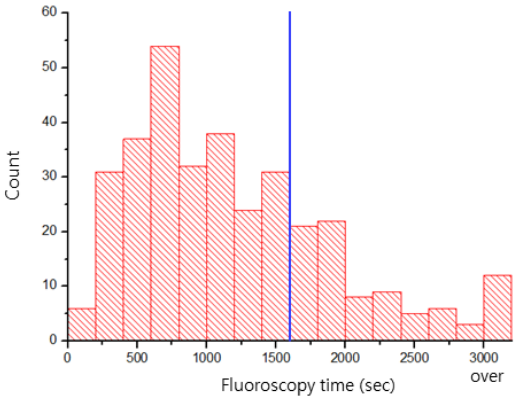
PCN



Hickman Catheter Insertion



Chemoport Insertion



BAE

그림 4. 중재시술 종류별 투시시간 분포와 진단참고수준 (계속)

바. 기존 국내외 자료와의 비교

1) 기존 국내 자료와의 비교

표 13은 11개 시술을 대상으로 한 이번 연구 결과와 2012년 국내 연구자료 중 비교가능 한 10개 시술의 2012년 결과를 비교한 것이다.

연구결과 시술 시간이 길고 복잡한 시술일수록 진단참고수준이 높게 나타났다. 또한, 본 연구의 진단참고수준과 2012년 진단참고수준을 비교한 결과 비교 가능한 10개 시술 모두 8~68 % 진단참고수준이 낮아진 것으로 분석되었다. 특히, 경피적 신루설치술(PCN)이 가장 감소폭이 큰 것으로 분석되었다.

TACE, PTBD, Biliary stent, AVF (U/E) 그리고 TFCA는 감소폭이 35 % 이내이며 투시시간은 증가되었다. 그러나 면적선량은 10개 시술 모두 크게 감소되었다. 이번 연구에서 선량이 가장 높고, 시술건수도 가장 많은 TACE는 2012년에 비해 투시시간은 13 % 증가되었으나 면적선량은 오히려 13 % 감소하였으며, 시술시간이 가장 긴 Aneurysm coil의 경우도 선량이 44 % 감소하였다. 이러한 감소폭은 최근 개발 된 선량저감화 장치의 보급이 관련되었을 수도 있지만, 2014년 이후 설치가 50 %에 불과하다는 점을 고려해볼 때 2012년 진단참고수준 설정 연구 이후 제시한 선량 저감화 방안 교육 및 홍보의 결과도 영향을 미쳤을 것으로 예상된다.

표 13. 2012년 DRL과 2019년 DRL 결과비교

Procedure	Fluoroscopy Time (sec)		DAP (Gy·cm^2)	
	2019	2012	2019	2012
TACE	1,379 (△13%)	1,224	206 (▽13%)	238
PTBD	431 (△1%)	427	22 (▽42%)	38
Biliary stent	978 (△27%)	760	60 (▽8%)	65
AVF (U/E)	861 (△10%)	786	12 (▽29%)	17
TFCA	927 (△35%)	686	122 (▽36%)	189
Aneurysm coil	2,919 (▽2%)	2,976	214 (▽44%)	384
L/E intervention	1,408 (▽4%)	1,460	43 (▽62%)	114
PCN	191 (▽19%)	236	7 (▽68%)	22
Hickman	36 (▽33%)	54	2.1 (▽47%)	4
Chemoport	41 (▽5%)	43	1.4 (▽50%)	2.8
BAE	1,616	-	104	-

2) 국외자료와의 비교

표 14, 15는 본 연구결과와 국외의 연구결과 자료를 비교한 것이다. 국외의 경우, 소수 국가에서 일부 시술에 대한 진단참고수준을 제시하고 있다. 뇌동맥류 코일 색전술(Cerebral aneurysm coil embolization)의 경우 국내 진단참고수준은 미국에 비해 선량면적곱과 투시시간은 약 50 % 수준이다. 경피적신루설치술(PCN)의 국내 진단참고수준은 영국에 비해 선량면적곱과 투시시간이 절반 수준으로 나타났으며, 미국과 비교하여도 약 1/3 수준이다. Hickman Catheter 삽입술의 국내 진단참고수준은 영국과 비해 선량면적곱은 약 2/3 수준, 투시시간은 약 1/3 수준이다.

해외 데이터와의 단순비교는 어렵지만, 동일한 중재적방사선시술을 받더라도 미국이나 영국에 비해 우리나라 환자가 더 적은 양의 방사선피폭선량을 받게 될 가능성이 높다는 점은 국내 의료진과 질병관리청의 지속적인 선량저감화 노력의 성과로 판단된다.

표 14. 중재시술 종류별 진단참고수준 비교

시술 종류	선량면적곱 (Gy·cm^2)						
	국내 2019	국내 2012	영국 2010	미국 2009	스위스 2007	스페인 2009	이탈리아 2004
간암 경동맥화학색전술 (TACE)	206	238	–	–	620	289	338
혈액투석용 동정맥루 (AVF)	12	17	–	–	–	–	–
하지 혈관질환의 중재적 시술 (LE intervention)	43	114	–	–	460	94	–
뇌혈관 조영술 (TFCA)	122	189	–	–	–	–	–
뇌동맥류 코일 색전술 (Cerebral aneurysm coil embolization)	214	384	–	360	440	–	338
경피경간 담즙 배액술 (PTBD)	22	38	–	–	–	80	62
담도 스텐트 설치술 (Biliary stent)	60	65	43	–	240	–	–
경피적 신루설치술 (PCN)	7.0	22	13	40[a)] 60[b)]	–	–	62
히크만 카테터 삽입술 (Hickman catheter insertion)	2.1	4.3	3	–	–	–	–
중심정맥 카테터 삽입술 (Chemoport insertion)	1.4	2.8	–	–	–	–	–
기관지 동맥 색전술 (BAE)	104	–	–	390	150	–	–

[a)] For obstruction

[b)] For stone access

표 15. 중재시술 종류별 투시시간의 3사분위값 비교

시술 종류	투시시간 (sec)					
	국내 2019	국내 2012	영국 2010	미국 2009	스위스 2007	스페인 2009
간암 경동맥화학색전술 (TACE)	1,379	1,224	-	-	1,800	1,458
혈액투석용 동정맥루 (AVF)	861	786	-	-		
하지 혈관질환의 중재적 시술 (LE intervention)	1,408	1,460	-	-	1,500	654
뇌혈관 조영술 (TFCA)	927	686	-	-		
뇌동맥류 코일 색전술 (Cerebral aneurysm coil embolization)	2,919	2,976	-	5,400	3,000	
경피경간 담즙 배액술 (PTBD)	431	427	-	-		1,188
담도 스텐트 설치술 (Biliary stent)	978	760	840	-	1,500	
경피적 신루설치술 (PCN)	191	236	402	900[a)] 1,500[b)]		
히크만 카테터 삽입술 (Hickman catheter insertion)	36	54	90	-		
중심정맥 카테터 삽입술 (Chemoport insertion)	41	43	-	-		
기관지 동맥 색전술 (BAE)	1,616	-	-	2,100	1,800	

a) For obstruction

b) For stone access

7 중재시술로 인한 장기흡수선량 및 유효선량 평가

가. 중재시술 종류 및 장치 특성기반 환자선량 평가방법 개발

물질에 대한 방사선의 영향을 계산하기 위해서 확률론적 방법인 몬테카를로 기법을 이용한 코드 중 하나인 MCNP (Monte Carlo N Particle)코드를 이용하고, 엑스선 스펙트럼 프로그램을 활용하여 그 분포를 모사하여 이용하였다. 또한 방사선의 인체 각 장기에 대한 영향을 평가하기 위한 방법으로 수학적 선량평가모의체와 체적소(voxel) 선량평가모의체의 장점을 취한 hybrid 선량평가모의체(그림 5)를 활용하였다. 이러한 방법론을 통하여 ICRP 103에서 언급하는 인체 내 모든 장기 및 조직과 골격에 대한 방사선량 분석을 수행하였다.

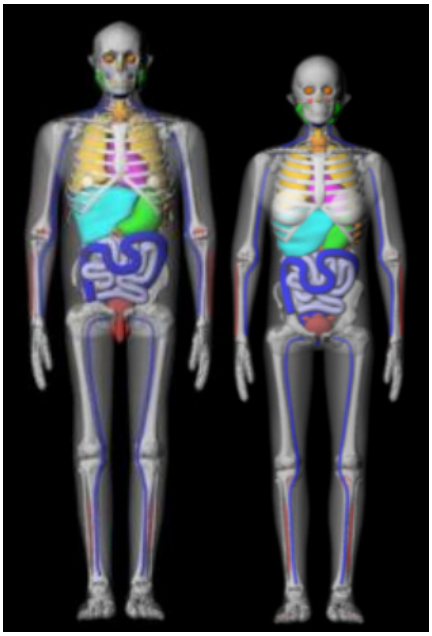


그림 5. Hybrid 성인 남녀 선량평가모의체

이 과정에서 관련 자료 조사 및 전문가 자문을 통하여 환자선량에 영향을 미치는 다양한 영향인자(관전압: kVp, 관전류량: mAs, 조사 범위, 선원이미지간거리, 선원회전축간거리, 회전축이미지간거리, C-arm CT 촬영 여부, 촬영 방향, 환자 특성 등)를 도출하였다(표 16). 또한 방사선에 의한 확률적인 영향을 평가하기 위한 지표인 유효선량을 평가하는 데에 있어 장기별 흡수선량과 함께 조직가중치를 고려하여야 하는데, 이에 대한 국제방사선방호위원회의 ICRP 60 권고와 ICRP 103 권고를 인용하였다(표 17).

표 16. 중재시술에 대한 방사선량 평가 시 필요 인자

구분	선량 영향 인자
선량평가 대상	환자 특성(성별)
검사 방법	Fluoroscopy, DSA, C-arm CT
시술 부위	간, 뇌혈관, 담낭, 신장 등
촬영 방향	상하 방향(Cranial, Caudal), 좌우 방향(LAO, RAO)
검사 조건	관전압, 관전류량, 선원-이미지간 거리, 조사 면적
장비특성	타겟 재질, 각도, 고유필터 등
유효선량 평가 방법론	ICRP 60, ICRP 103
기타 고려 인자	선량평가모의체

표 17. 국제방사선방호위원회에서 권고한 각 장기별 조직가중치

장기	ICRP 60	ICRP 103
폐, 위, 결장, 적색골수	0.12	
피부, 뼈 표면	0.01	
생식선	0.2	0.08
유방, 잔여조직, 간, 식도, 방광, 갑상선	0.05	0.12
		0.04
뇌, 침샘	-	0.01

나. 중재시술 종류별 환자의 장기선량 및 유효선량 평가

중재시술에 의한 환자의 방사선량을 평가하기 위해서는 다양한 인자를 고려하여야 하며, 개별 시술환경을 반영할 수 있는 인자 값을 설정하여야 한다. 그러나 중재시술의 경우 동일한 시술일지라도 시술자, 환자 질환 등에 따라 시술 조건 및 방법 등이 상이하며, 이에 따라 동일 시술이라도 장기선량 및 유효선량은 크게 달라진다. 본 연구에서는 시술별 장기선량 및 유효선량 평가를 위해 각 시술 마다 대표 피폭 시나리오를 설정하였다. 피폭 시나리오 설정을 위해서 중재시술 후 장치에서 생성되는 환자별 선량보고서 10,000건 이상의 정보를 분석하여 시술 조건을 설정하고 이에 대해 전문가 자문을 시행하고 피폭 시나리오를 확정하였다(표 18). 최종적으로 몬테카를로 기법 프로그램을 이용하여 설정한 시나리오에 따라 환자의 장기선량 및 유효선량을 평가하였다.

표 18. 중재시술 종류별 선정한 시술조건

시술 종류	촬영 방향		조사면적 (cm x cm)		kVp	필터두께 (mm Al)	SID (cm)
	상하	좌우	가로	세로			
간암 경동맥화학색전술 (TACE)	0	0	18	20	93	4.9	120
	3D 촬영		40	25	100	2.5	120
혈액투석용 동정맥루(AVF)	0	0	21	28	60	17.5	120
	0	0	12	28	60	17.5	120
하지 혈관질환의 중재적 시술 (LE Intervention)	0	0	22	29	63	9.4	120
	0	LAO 45	22	29	63	9.4	120
	0	RAO 30	22	29	63	9.4	120
뇌혈관 조영술 (TFCA)	0	0	17	15	70	4	120
	0	RAO 90	20	12	70	4	120
	CARN 15	0	17	15	70	4	120
	3D 촬영		17	15	100	2.5	120
	CRAN 30	0	17	15	70	4	120
뇌동맥류 코일 색전술 (Cerebral aneurysm coil embolization)	0	0	17	15	70	4	120
	0	LAO 15	20	12	70	4	120
	0	RAO 90	20	12	70	4	120
	CRAN 15	0	17	15	70	4	120
	CAUD 30	0	17	15	70	4	120
	3D 촬영		17	15	100	2.5	120
경피경간 담즙 배액술 (PTBD)	0	0	18	15	70	9.4	120
	0	RAO 15	18	15	70	9.4	120
	CRAN 15	0	18	15	70	9.4	120
담도 스텐트 설치술 (Biliary Stent)	0	0	18	15	70	9.4	120
	0	RAO 15	18	15	70	9.4	120
	CRAN 15	0	18	15	70	9.4	120
경피적 신루 설치술 (PCN)	0	0	15	32	70	9.4	120
	CRAN 15	0	15	32	70	9.4	120
히크만 카테터 삽입술 (Hickman catheter insertion)	0	0	24	34	66	9.4	120
중심정맥 카테터 삽입술 (Chemoport insertion)	0	0	16	18	66	9.4	120
기관지 동맥 색전술 (BAE)	0	0	36	36	66	9.4	120
	0	0	18	18	66	9.4	120
	0	0	18	18	66	9.4	120
	0	0	18	18	66	9.4	120
	0	0	18	18	66	9.4	120

표 19에 시술 종류별 선량면적곱과 유효선량 평가 결과를 나타내었으며, 그림 6에는 중재시술 종류별 환자의 성별 유효선량을 비교하여 나타내었다. 전체적인 시술에서 여성의 유효선량이 남성보다 높게 평가되었으며, 이는 신체의 크기가 작을수록 동일한 방사선량에 대한 장기흡수선량이 높게 나타나기 때문이다. 그리고 시술 종류에 따른 유효선량 비교 시 간암 경동맥화학색전술(TACE), 담도 스텐트 설치술(Biliary Stent), 기관지 동맥 색전술(BAE)에서 높은 유효선량을 나타내었다. 시술에 따른 유효선량의 차이는 사용되는 방사선량, 방사선 조사 부위, 3D CT 촬영 여부에 기인할 수 있다. 유효선량이 높게 평가된 시술들은 비교적 복잡하여 시술 시간이 길고, 높은 방사선량이 사용된다. 그리고 간암 경동맥화학색전술(TACE), 담도 스텐드 설치술(Biliary stent), 기관지 동맥 색전술(BAE) 등의 시술은 조직가중치가 높은 흉부/복부가 피폭되므로, 이에 의해 유효선량이 더 높게 평가될 수 있다. 그리고 간암 경동맥화학색전술(TACE), 뇌혈관 조영술(TFCA), 뇌동맥류 코일 색전술(Cerebral aneurysm coil embolization)은 시술하는 동안 3D CT를 촬영하므로, 환자는 비교적 높은 장기선량을 받을 수 있다. 시술별로 각 장기에 대해 방사선 노출 정도를 평가하여, 표 20과 그림 7에 상복부를 대상으로 방사선 조사가 일어나는 간암 경동맥화학색전술(TACE)의 장기선량과 유효선량 평가 결과를 대표로 제시하였다.

표 19. 중재시술 종류별 평균 선량면적곱 및 유효선량

시술 종류	선량면적곱 ($Gy \cdot cm^2$)	유효선량 (mSv)
간암 경동맥화학색전술(TACE)	154.9	29.3
혈액투석용 동정맥루(AVF)	13.4	0.2
하지 혈관질환의 중재적 시술(LE Intervention)	37.5	0.7
뇌혈관 조영술(TFCA)	93.4	2.4
뇌동맥류 코일 색전술(Cerebral Coil Aneurysm Embolization)	160.0	4.1
경피경간 담즙 배액술(PTBD)	19.4	3.0
담도 스텐트 설치술(Bilary Stent)	47.8	7.5
경피적 신루설치술(PCN)	6.8	1.3
히크만 카테터 삽입술(Hickman Catheter Insertion)	1.8	0.2
중심정맥 카테터 삽입술(Chemoport Insertion)	1.5	0.2
기관지 동맥 색전술(BAE)	85.1	7.1

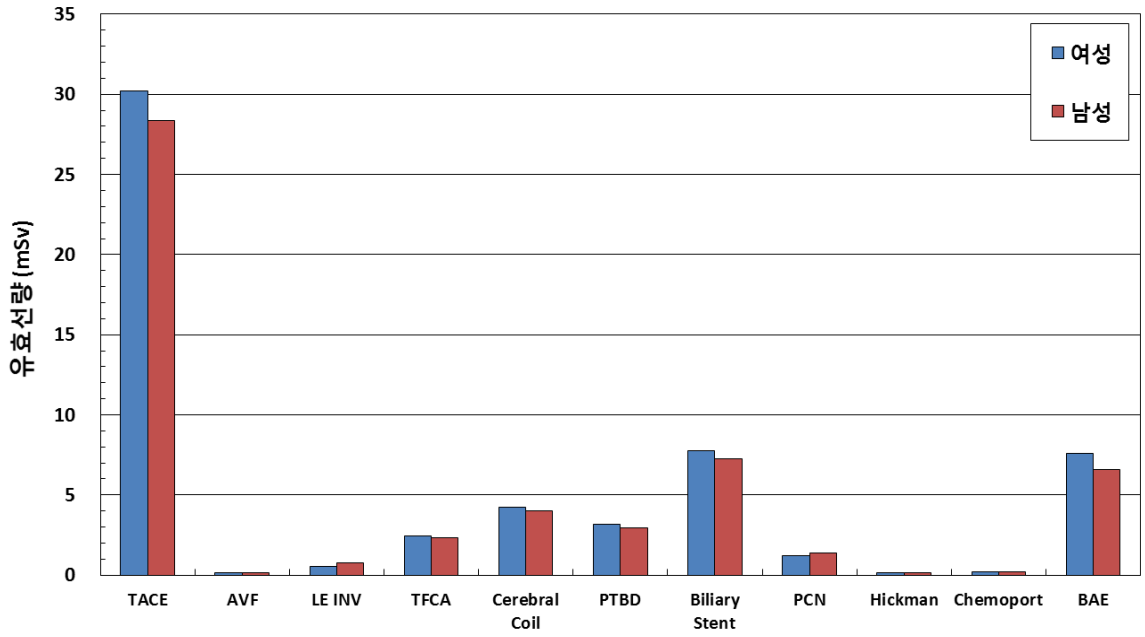


그림 6. 중재시술 종류 및 환자 성별에 따른 유효선량

표 20. 간암 경동맥화학색전술(TACE) 시술 시 장기선량 및 유효선량

장기	장기선량 (mGy)			장기	장기선량 (mGy)		
	여성	남성	평균		여성	남성	평균
적색골수	27.05	19.81	23.43	피부	21.01	22.46	21.74
결장	20.17	20.02	20.10	부신	120.52	94.74	107.63
폐	49.89	53.69	51.79	흉외기도	8.55	9.67	9.11
위	44.36	41.01	42.69	쓸개	55.72	45.35	50.53
유방	15.67	19.59	17.63	심장	36.22	35.63	35.93
생식선	1.87	0.24	1.05	신장	193.19	135.85	164.52
방광	0.74	1.26	1.00	근육	22.43	28.96	25.69
식도	41.73	38.92	40.32	구강점막	0.30	0.03	0.16
간	66.72	65.28	66.00	췌장	78.46	46.61	62.53
갑상선	3.80	1.82	2.81	전립선/자궁	0.79	0.93	0.86
뼈 표면	23.07	16.70	19.89	소장	28.99	21.04	25.02
뇌	0.08	0.05	0.07	비장	69.43	81.19	75.31
침샘	0.62	1.29	0.95	흉선	8.85	12.75	10.80
유효선량	(mSv)		29.27				

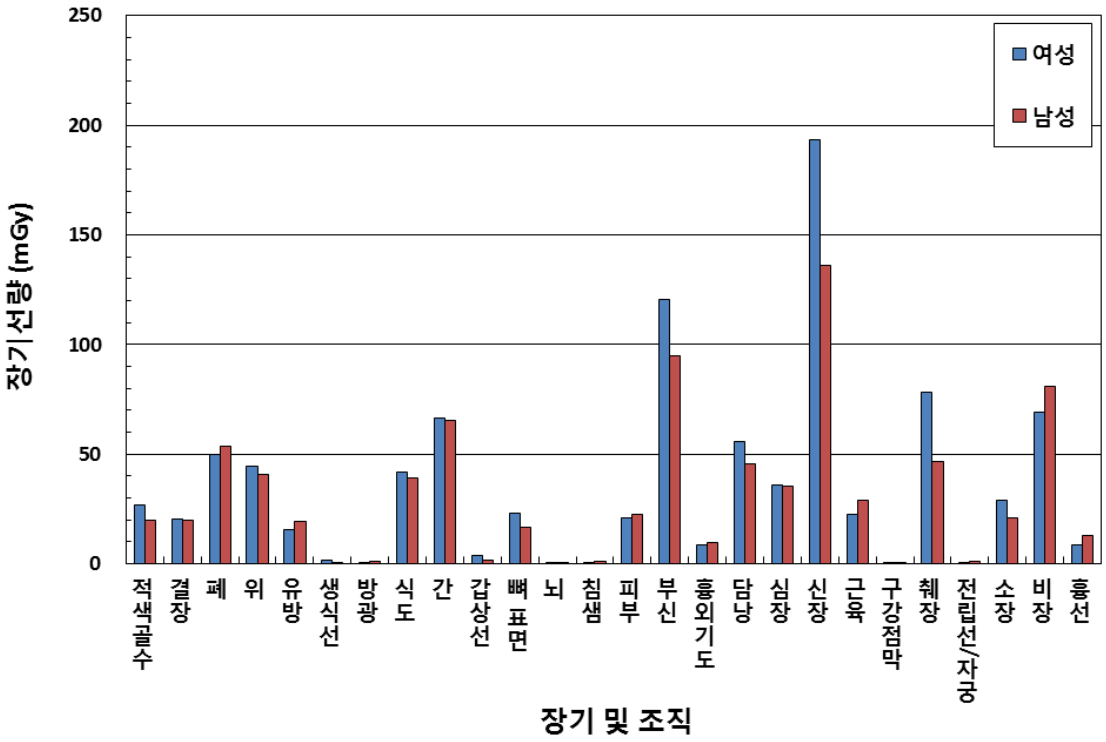


그림 7. 간암 경동맥화학색전술(TACE) 시술 시 장기선량

다. 중재시술 종류별 유효선량 환산인자 도출

각 시술별로 성인 남성, 여성에 대한 유효선량 환산인자를 도출하였다. 표 21에 선량면적곱에 대한 유효선량 환산인자를 나타내었으며, 유효선량 환산인자는 ICRP 103 및 ICRP 60에서 제시한 유효선량 평가방법론에 따라 나타내었다. 유효선량 환산인자는 0.012 ~ 0.287 mSv/mGy•cm^2 의 범위를 나타내었다. 환자 성별에 관계없이 경피적 신루설치술(PCN), 간암 경동맥화학색전술(TACE)에서 높은 유효선량 환산인자를 나타내었다. 성별에 대한 유효선량 환산인자는 대부분의 시술에서 남성보다 여성이 높게 나왔지만, 경피적 신루설치술(PCN)은 여성보다 남성이 높게 나타났으며, 이는 남성의 고환 선량이 높기 때문이다.

표 21. 선량면적곱에 대한 중재시술 종류별 유효선량 환산인자(mSv/Gy•cm^2)

시술 종류	ICRP 103			ICRP 60		
	여성	남성	평균	여성	남성	평균
간암 경동맥화학색전술(TACE)	0.195	0.183	0.189	0.242	0.218	0.230
혈액투석용 동정맥루(AVF)	0.012	0.012	0.012	0.015	0.014	0.015
하지 혈관질환의 중재적 시술 (LE intervention)	0.015	0.021	0.018	0.023	0.042	0.032
뇌혈관 조영술(TFCA)	0.026	0.025	0.026	0.036	0.028	0.032
뇌동맥류 코일 색전술 (Cerebral aneurysm coil embolization)	0.027	0.025	0.026	0.036	0.029	0.032
경피경간 담즙 배액술(PTBD)	0.162	0.151	0.157	0.208	0.188	0.198
담도 스텐트 설치술(Biliary stent)	0.162	0.151	0.157	0.208	0.188	0.198
경피적 신루설치술(PCN)	0.180	0.199	0.190	0.204	0.287	0.246
히크만 카테터 삽입술 (Hickman catheter insertion)	0.092	0.085	0.089	0.114	0.102	0.108
중심정맥 카테터 삽입술 (Chemoport insertion)	0.138	0.124	0.131	0.155	0.137	0.146
기관지 동맥 색전술(BAE)	0.089	0.077	0.083	0.100	0.084	0.092

8 IR 장비 내장형 면적선량계 오차율 분석

국내에 2005년을 전후하여 면적선량계가 장착된 중재시술 장비가 설치되기 시작하였다. 일반적으로 면적선량계는 이온전리함 형태이며, X선관의 조사야 부분에 부착하여 선량을 직접 측정하여 단면적과 공기커마의 곱을 실시간으로 측정할 수 있다. 한국인정기구(KORAS)에서는 선량측정 장비의 교정 주기를 고정형은 1년, 이동형은 6개월로 권고하고 있으며, 오차를 ±10 % 범위로 권고하고 있다. 그러나 장비에 설치된 측정기에 대한 교정은 「진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙」의 검사기준 항목이 아니고, 실제 장비 설치후에는 오차교정도 어려운 상황이어서 장비에서 보고되는 선량의 정확성에 대한 오차율 분석이 필요하다. 이와 같은 이유로 이번 연구에서는 내장형 면적선량계와 오차율 교정이 시행된 이동형 면적선량계를 이용하여 비교평가를 시행하였다.

측정은 교정을 마친 이동형 면적선량계 VacuDAP (VacuTec, 독일)을 이용하였고, 2019년 6월부터 10월까지 전국 47곳 종합병원의 중재시술장비 94대에 대하여 조사하였다. 대상 장비의 설치 연도는 면적선량계가 적용되기 시작한 2005년도 이후였으며, 제조사는 P사 45대, S사 39대, G사 8대 그리고 T사가 2대 이었다. 이 중 G사의 경우 실제 면적선량계 없이 NDD(non-dosimeter dosimetry)법을 적용한 계산방식으로 계산치를 제시하고 있어 이 값을 활용하였다.

측정방법은 장치의 X선관 부위의 뚜껑을 개봉한 후 장비에 내장된 면적선량계와 Vacu DAP를 일치시킨 후 방사선을 조사하였다(그림 8). 장비별 조건을 동일하게 하기 위하여 환자 테이블의 피사체는 제거한 상태에서 X선을 조사하였으며 장비 별 자동휘도조절장치를 적용하였다. 투시측정은 30-60초 시행하고, 추가로 스팟(spot) 촬영을 같은 방법으로 총 5회 실시하였다. 얻어진 측정 결과 값을 토대로 면적선량 값과 오차범위를 확인하였다.

그림 8. 면적선량계 비교 측정

장비 내장형 면적선량계와 이동형 면적선량계의 비교・측정 결과 투시촬영조건은 12.6 ± 9.8 %의 차이를 발생하였으며, 스팟 촬영조건에서는 14.5 ± 10.3 %의 차이를 보였다(표 22). 투시촬영조건에서는 43개의 장비(46.2 %)가 10 %가 넘는 오차범위를 나타냈으며, 스팟 촬영조건에서는 56개의 장비(60.2 %)에서 10 %가 넘는 오차범위를 나타냈다(그림 9).

표 22. 투시모드와 스팟모드의 오차율

Fluoroscopy error rate (%)				Spot error rate (%)			
Max	Min	Aver	SD	Max	Min	Aver	SD
56.4	0.3	12.6	9.8	45.9	0.4	14.5	10.3

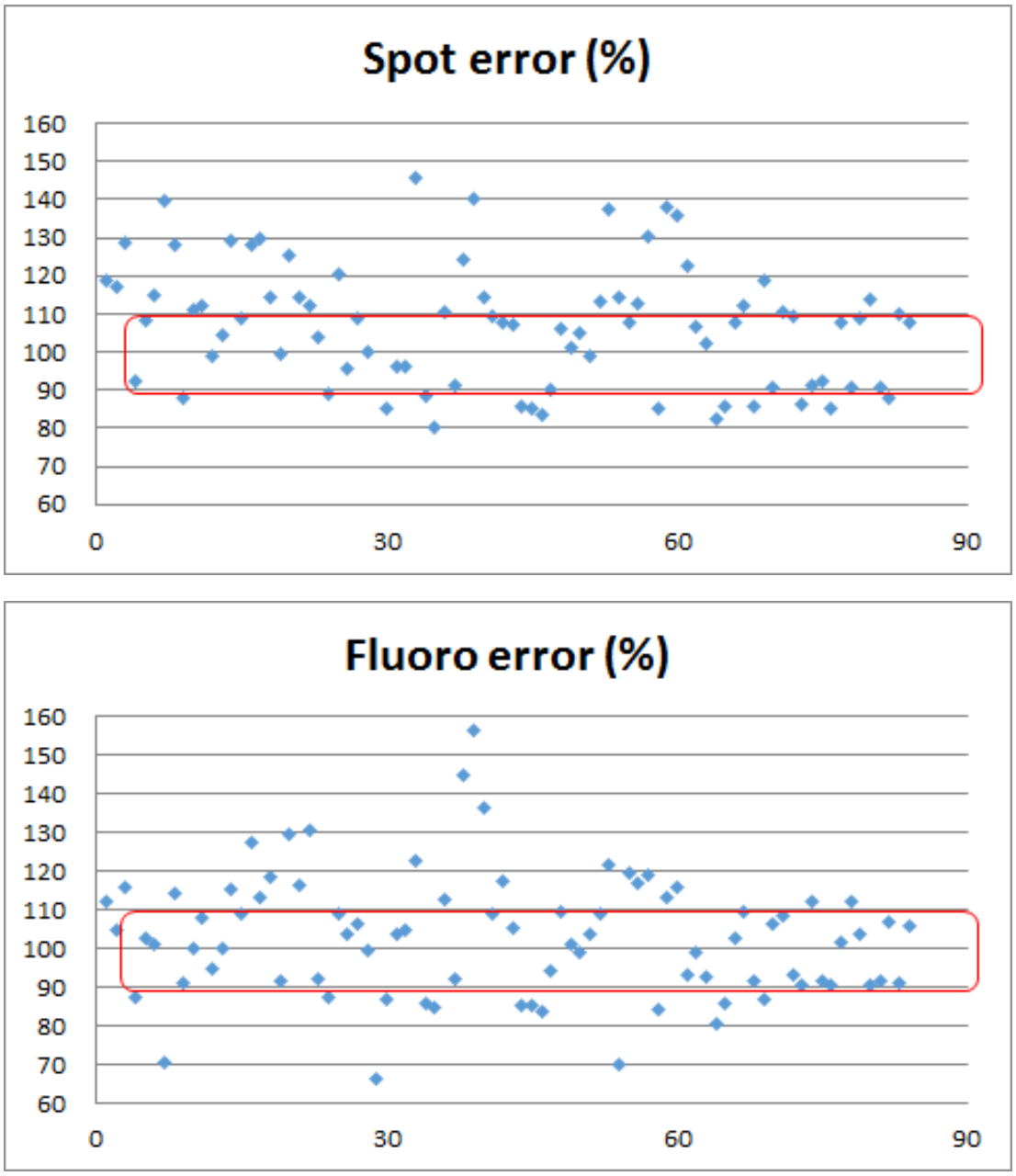


그림 9. 투시모드와 스팟모드의 오차율 분포도

한편 사용연도별 오차율은 사용기간이 늘어남에 따라 오차율이 증가하는 추세를 보였으며, 8년 이상 사용한 장비의 오차율이 높게 나타났다. 그러나 전제적으로 설치년도 및 사용연수와 오차율의 상관관계는 크지 않았다.(그림 10).

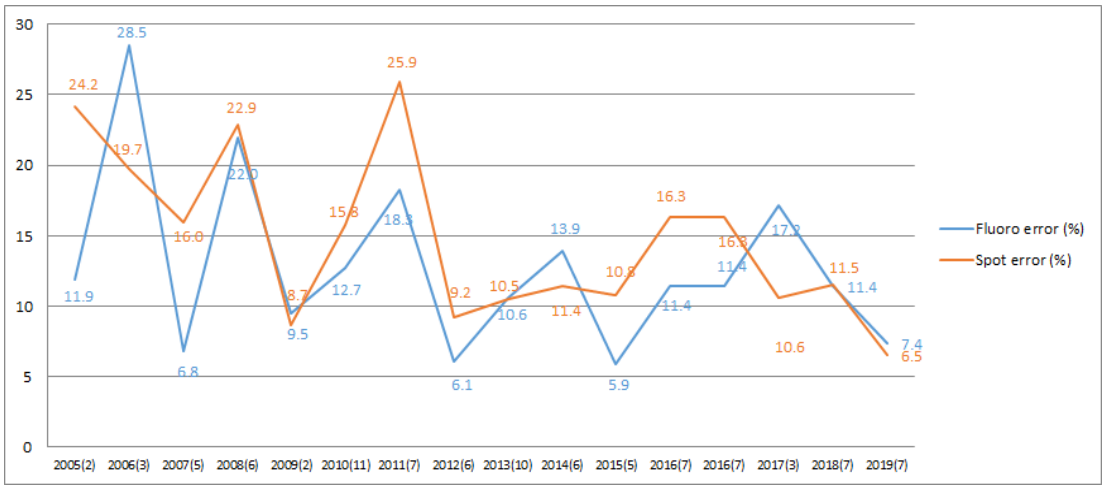


그림 10. 사용기간에 따른 오차율 추이

평균 오차율에서 면적선량계를 사용하는 경우 투시촬영조건에서 12.5 %, 스팟 촬영조건에서 14.6 % 인 반면, NDD법을 적용하는 장비에서 투시촬영조건에서 28.1 %, 스팟촬영조건에서 32.1 %로 2배 이상 오차율이 높게 나타났다(그림 11). 이는 X-선관이 노후 또는 이상으로 X-선 방출에 문제가 발생하였을 때 장비에 설치된 면적선량계는 실제 방출되는 X-선을 측정하여 표시하는 반면, NDD 법을 적용하는 장비는 이를 반영하지 못하고, 기존에 설정된 X-선 촬영 파라미터만을 적용하기 때문이다.

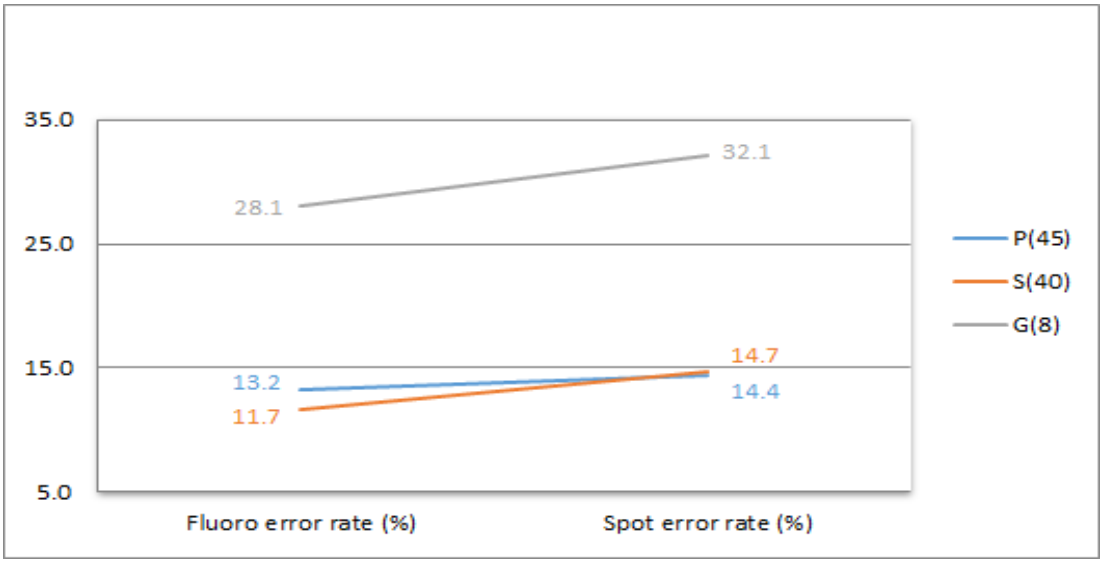


그림 11. 면적선량계와 NDD법의 차이

9 중재시술 장비 선량분포 측정

측정 장치는 서울 S병원에 설치된 Philips사의 Allura Xper FD 20 3대로 측정하였다. 복부 조직등가 팬텀을 사용하여 투시조건은 Auto mode로 정면상 촬영 시 80 kVp, 24 mAs, 측면상 촬영 시 84 kVp, 55 mAs의 조건으로 설정 하였다. 선량 측정은 Ionchamber(Model 20X4 1800cc)를 사용하였고, Reader는 Radiation Monitor Controller Model 2026을 사용하였다 (그림 12)

정면투시 시의 측정 장비 조건은 시술대 높이 80 cm, SID 100 cm, 조사야 42 cm 등 시술시 주로 이용되는 조건을 설정하였고, 선량의 측정 위치는 투과 중심으로부터 시술대 방향으로 30, 60, 90, 120, 150, 180 cm 지점에서 동일한 높이(80 cm)를 설정하였다. 그런 다음 정면투시 선량을 각 5회씩 측정하여 평균한 값을 기준점 선량으로 설정하고, 각도 변화를 확인하기 위해 시술대를 0°로 하여 시계 방향으로 30°씩 변화를 주어 30, 60, 90, 120, 150° 각도에서 기준점 선량과 동일한 선량을을 나타내는 거리를 각 5회씩 측정하였으며, 등선량 곡선을 작성하였다. 210°~330°의 선량은 30°~150°의 선량과 유사하다는 가정 하에 등선량 곡선을 작성하였다.

측면상에서도 측정조건을 통일하고 정면투시 측정과 유사한 방법을 통하여 기준점 선량을 설정하였다 그리고 각도를 달리하여 0°~330° 각도에서 측정하고 등선량 곡선을 작성하였다.

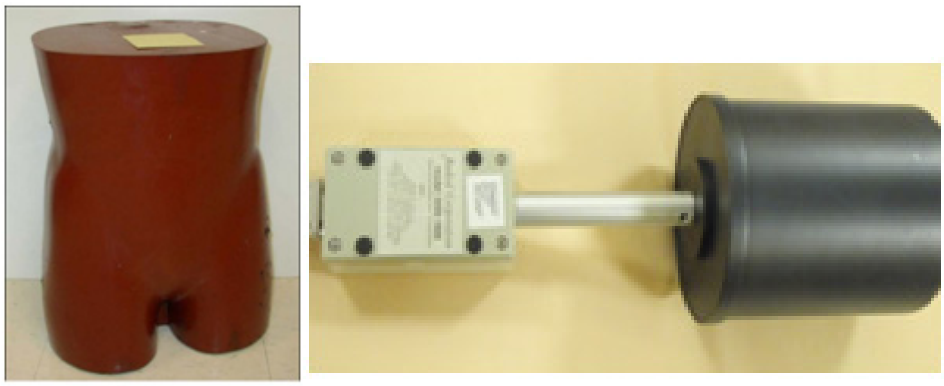


그림 12. 복부팬텀과 1800 cc ionchamber

정면투시 시에는 시술대 위치인 0°일 때 선량이 가장 낮았고, 30°~150°에서 선량이 증가하였다. 그리고 30°~60°에서 급격히 선량이 증가함을 확인할 수 있었고 90°~150° 구간에서 선량이 최대로 나타났다(표 23, 그림 13).

표 23. 정면투시 시 선량분포

(단위: cm)

구분	15 mGy/h	8 mGy/h	4.5 mGy/h	3 mGy/h	2 mGy/h	1.3 mGy/h
0 °	30	60	90	120	150	180
30 °	48	95	142	189	240	286
60 °	99	148	198	258	–	–
90 °	117	170	223	–	–	–
120 °	120	169	223	–	–	–
150 °	115	168	219	271	–	–

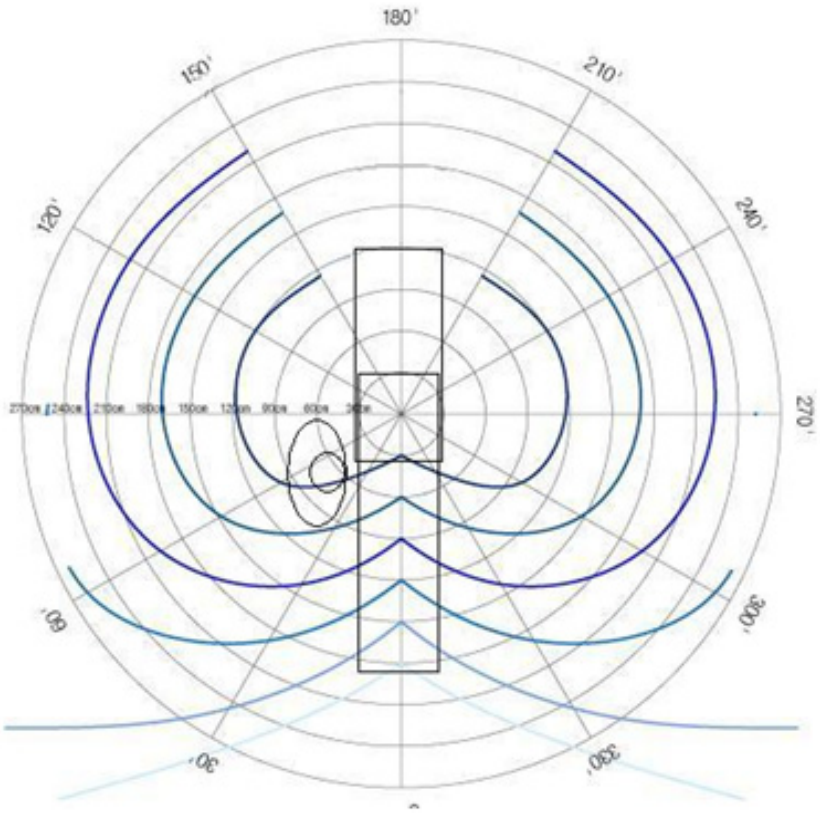


그림 13. 정면투시 등선량곡선

측면투시의 경우 투시방향 중 장비의 후방에서 산란선이 가장 작은 것으로 나타났으며 이는 장비의 구조물에 의해 산란선 차단이 있음을 확인할 수 있었다(표 24, 그림 14). 등선량곡선 중에서 중심점 왼쪽은 X선관 방향이고 중심점 오른쪽은 검출기 방향이며, X선관 방향중 장비의 간섭이 없는 거리에서 선량이 가장 크다는 것을 수 있다. 그리고 30˚~60˚방향이 선량이 가장 크다는 것을 알 수 있는데 이는 피사체에 의한 산란선이 많음을 나타내고 있다. 또한 300˚, 330˚의 선량분포가 30˚, 60˚에 비해 선량이 작은데 이는 복부조직등가팬텀을 통과하며 흡수된 선량 차에 따른 것임을 확인 할 수 있다. 대체적으로 검출기 방향인 오른쪽의 선량이 낮게 나타났다.

표 24. 측면투시 시 선량분포

(단위: cm)

	300 mGy/h	73 mGy/h	33 mGy/h	17 mGy/h	10 mGy/h	7 mGy/h
0 ˚	30	60	90	120	150	180
30 ˚	46	88	128	182	233	276
60 ˚	53	99	125	160	182	243
90 ˚	56	70	76	85	89	94
120 ˚	46	88	99	106	115	121
150 ˚	43	84	98	109	112	117
210 ˚	21	50	83	103	114	120
240 ˚	21	48	61	65	84	105
270 ˚	21	42	50	53	59	62
300 ˚	20	43	49	55	68	98
330 ˚	18	47	70	105	140	173

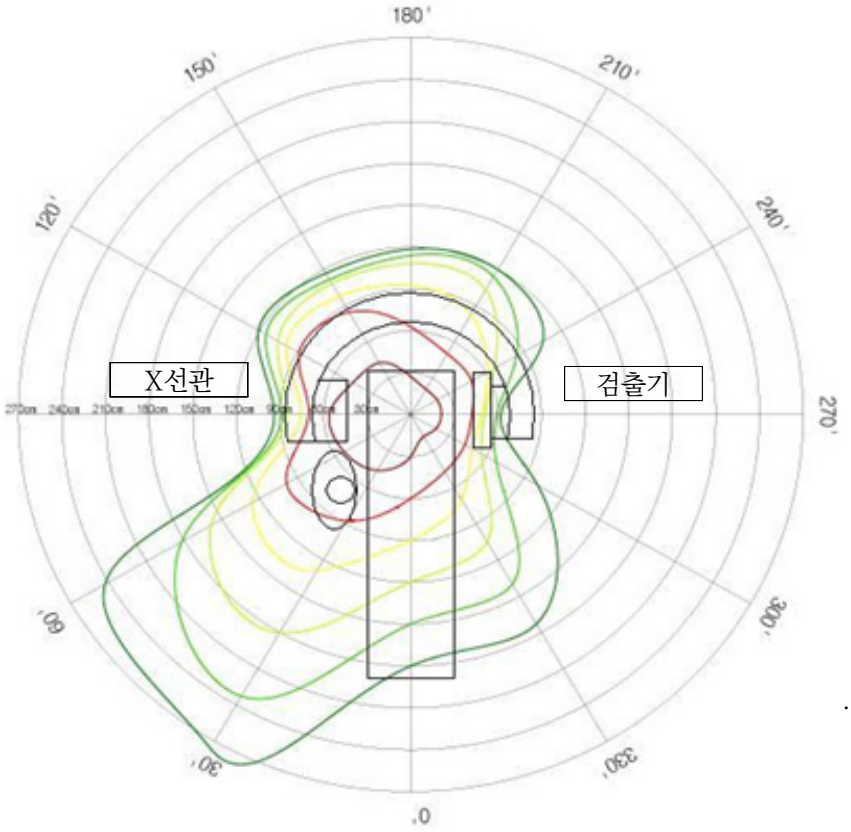


그림 14. 측면투시 등선량곡선

10 중재적 시술에서 환자선량 참고시 주의사항

- 중재적 시술의 환자선량은 동일 시술이라 할지라도 환자의 상태에 따라 시술의 복잡성이 다양하므로, 정량적 기준이 양질의 시술을 판단하는 기준이 될 수 없으며, 시술이 어렵고 복잡하거나, 첨단 치료법을 시행하거나, 보다 정밀한 시술을 시행하고자 할 때 오히려 높아지는 경향이 있다.

- 중재적방사선시술은 환자의 생명을 좌우하는 종양이나 혈관 질환, 출혈 등 응급 상황에 시술하게 되므로, 정확하고 정밀하며 안전한 시술이 우선이 되어야 한다. 따라서, 환자선량은 시술의 결과에 영향을 미치지 않는 선에서 최소한을 유지할 수 있도록 노력하여야 한다.

- 환자선량 자료는 각각의 수치로 관리되기 보다는 전체의 평균과 분포의 개념으로 다루어지고 관리되어야 한다.

11 중재적 시술시 환자선량 감소를 위한 권고사항

- 모든 자체 규칙과 프로토콜을 숙지하고 준수한다.
- 계획 및 프로토콜에 따라 시술을 시행함으로써 투시시간을 단축하고, 시술 중 엑스선 사용을 줄일 수 있도록 한다.
- 환자 시술 테이블의 높이를 가능한 한 높여서, 환자와 엑스선관의 거리를 멀리한다.
- 엑스선 검출기(detector)를 가능한 한 환자에 밀착시켜 환자와 검출기의 거리를 최소로 한다.
- 연속투시보다는 펄스투시방식을 선택하고, 시술에 장애를 받지 않는 한도 내에서 투시 frame rate를 줄여 피폭선량을 감소시킨다.
- 혈관 촬영 프로그램에서도 프레임 비율(frame rate)을 적절히 줄여서, 필요성이 높지 않은 영상정보를 얻는데 사용되는 방사선량을 줄인다.
- 시술에 방해받지 않는 범위내에서 적극적으로 콜리메이션(collimation)을 사용하여, 투시 조사야를 좁혀서 산란선을 줄인다.
- 장비에 내장된 선량감소 프로그램(선량감소화를 위한 직전 투시영상의 자동저장 및 재생, 콜리메이션 영역 시뮬레이션 기능, Smart Road-map 기능 등)을 최대한 활용한다.
- 가능한 범위내에서 투시시간, 영상획득 횟수를 최소화 한다.
- 모든 시술자는 방사선 피폭과 방사선 방어에 대한 충분한 지식을 습득하기 위해 노력한다.
- 검사실내의 모든 의료진은 적절한 방사선장해 방어용 기구를 착용해야 한다. 방사선관계종사자의 경우에는 방사선방어용 안경, 갑상선보호대, 진료용 엑스선방어 앞치마를 착용해야 한다.
- 모든 활용가능한 방사선장해 방어용기구를 시술 테이블 주위에 적절하게 배치한다.
- 시술 종료 후 시술시간과 환자선량을 점검하여 기록하고, 환자선량 참고준위와 비교하여 검토한다.
- 의료기관 자체적으로도 주기적으로 방사선관계종사자에 대한 환자선량 저감화를 위한 교육을 시행하고, 항상 실천할 수 있도록 노력한다.

12 참 고 문 헌

1. 정진욱 외, 식품의약품안전청. 연구결과 보고서 - 중재적방사선시술(IR)에서의 환자선량 평가에 관한 연구, 식품의약품안전청; 12172방사선574; 2012.

2. Baiter S, Rosenstein M, Miller DL, et al. Patient radiation dose audits for fluoroscopically guided interventional procedures. Med Phys. 2011 Mar; 38(3): 1611-8.

3. Balter S, Schueler BA, Miller DL, et al. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR Study. Part III: Dosimetric performance of the interventional fluoroscopy units. J Vasc Interv Radiol. 2004 Sep;15(9):919-26.

4. Bleeser F, Hoornaert MT, Smans Kst al. Diagnostic reference levels in angiography and interventional radiology: a Belgian multi-centre study. Radiat Prot Dosimetry. 2008;129(1-3):50-5.

5. Bor D, Sancak T, Olgar T, et al. Comparison of effective doses obtained from dose-area product and air kerma measurements in interventional radiology. Br J Radiol. 2004 Apr;77(916):315-22.

6. Brambilla M, Marano G, Dominietto M, et al. Patient radiation doses and references levels in interventional radiology. Radiol Med. 2004 Apr;107(4):408-18.

7. Efstathopoulos EP, Brountzos EN, Alexopoulou E, et al. Patient radiation exposure measurements during interventional procedures: a prospective study. Health Phys. 2006 Jul;91(1):36-40.

8. Etard C, Bigand E, Salvat C, et al. Patient dose in interventional radiology: a multicenter study of the most frequent procedures in France. Eur Radiol. 2017 Oct;27(10):4281-4290.

9. ESR, European study on clinical diagnostic reference levels for X-ray medical imaging Deliverable 2.1: Report and review on existing clinical DRLs. Mar 2018, http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2017/09/D2.1_Report-and-review-on-existing-clinical-DRLs_final_published-on-website.pdf

10. Gray JE, Archer BR, Butler PF, et al. Reference values for diagnostic radiology: application and impact. Radiology. 2005 May;235(2):354-8.

11. Heilmaier C, Zuber N, Berthold C, et al. Establishing Local Diagnostic Reference Levels in IR Procedures with Dose Management Software, J Vasc Interv Radiol. 2017 Mar;28(3):429-441.

12. HPA-CRCE-034: doses to patients from radiographic and fluoroscopic x-ray imaging procedures in the UK - 2010 review, https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/342780/HPA-CRCE-034_Doses_to_patients_from_radiographic_and_fluoroscopic_x_ray_imaging_procedures_2010.pdf

13. HPA-RPD-029: doses to patients from radiographic and fluoroscopic x-ray imaging procedures in the UK - 2005 review, https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/431134/HPA-RPD-029.pdf

14. ICRP, Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann ICRP. 2017 Oct;46(1):1-144.

15. ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann ICRP. 2007;37(2-4):1-332.

16. Jaco JW, Miller DL. Measuring and monitoring radiation dose during fluoroscopically guided procedures. Tech Vasc Interv Radiol. 2010 Sep;13(3):188-93.

17. Marshall NW, Chapple CL, Kotre CJ. Diagnostic reference levels in interventional radiology. Phys Med Biol. 2000 Dec;45(12):3833-46.

18. McParland BJ. A study of patient radiation doses in interventional radiological procedures. Br J Radiol. 1998 Feb;71(842):175-85.

19. Miller DL, Balter S, Cole PE, et al. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part I: overall measures of dose. J Vasc Interv Radiol. 2003 Jun;14(6):711-27.

20. Miller DL, Balter S, Schueler BA, et al. Clinical radiation management for fluoroscopically guided interventional procedures. Radiology. 2010 Nov;257(2):321-32

21. Miller DL, Balter S, Wagner LK, et al. Quality improvement guidelines for recording patient radiation dose in the medical record. J Vasc Interv Radiol. 2012 Jan;23(1):11-8.

22. Miller DL, Kwon D, Bonavia GH. Reference levels for patient radiation doses in interventional radiology: proposed initial values for U.S. practice. Radiology. 2009 Dec;253(3):753-64.

23. Rivolta A, Emanuelli S, Tessarin C, et al. Method of patient dose evaluation in the angiographic and interventional radiology procedures. Radiol Med. 2005 Nov-Dec;110(5-6):689-98.

24. Ruiz-Cruces R, VAno E, Carrera-Magarino F, et al. Diagnostic reference levels and complexity indices in interventional radiology: a national programme. Eur Radiol. 2016 Dec;26(12):4268-4276.

25. Tsalafoutas IA, Goni H, Maniatis PN, et al. Patient doses from noncardiac diagnostic and therapeutic interventional procedures. J Vasc Interv Radiol. 2006 Sep;17(9):1489-98.

26. Vano E, Gonzalez L. Approaches to establishing reference levels in interventional radiology. Radiat Prot Dosimetry. 2001;94(1-2):109-12.

27. Vano E, Järvinen H, Kosunen A, et al. Patient dose in interventional radiology: a European survey. Radiat Prot Dosimetry. 2008;129(1-3):39-45.

28. Vano E, Sanchez R, Fernandez JM, et al. Patient dose reference levels for interventional radiology: a national approach. Cardiovasc Intervent Radiol. 2009 Jan;32(1):19-24.

29. E, Segarra A, Fernandez JM et al. A pilot experience launching a national dose protocol for vascular and interventional radiology. Radiat Prot Dosimetry. 2008;129(1-3):46-9.

30. Verdun FR, Aroua A, Trueb PR, et al. Diagnostic and interventional radiology: a strategy to introduce reference dose level taking into account the national practice. Radiat Prot Dosimetry. 2005;114(1-3):188-91.

진단참고수준 가이드라인 – 중재적방사선시술

발행년월일 : 2020년 10월

발 행 인 : 정 은 경

편집위원장 : 양 동 교

질병관리청 의료안전예방국 의료방사선과 : 이현구, 이병영, 이대희, 길종원,
박선주, 송승기, 임광래, 김재호,
김현지

발 행 처 : 질병관리청 의료안전예방국 http://www.cdc.go.kr
(28166) 충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명로 210 오송스퀘어빌딩 4층
질병관리청 의료안전예방국 의료방사선과
전화 (043)719-7511~18, 7520~22 Fax (043)719-7519

진단참고수준 가이드라인

중재적방사선시술

질병관리청
KDCA

Korean Society of Interventional Radiology

비매품/무료
95510
9 788968 388545
ISBN 978-89-6838-854-5(PDF)