



투시와 중재시술의 방사선 피폭과 저감화 방법

정 우 경* | 한양대학교 의과대학 한양대학교구리병원 영상의학과

Radiation exposure and its reduction in the fluoroscopic examination and fluoroscopy-guided interventional radiology

Woo Kyoung Jeong, MD*

Department of Radiology, Hanyang University Guri Hospital, Hanyang University College of Medicine, Guri, Korea

*Corresponding author: Woo Kyoung Jeong, E-mail: jeongwk@hanyang.ac.kr

Received September 6, 2011 · Accepted September 20, 2011

Radiation exposure during fluoroscopy has been of consistent interest because fluoroscopy is used not only for diagnostic purposes such as upper gastrointestinal series but for many minimally-invasive treatments in various clinical fields. In 2000, the International Commission on Radiological Protection published the important report about the avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures, and this report defined harm during fluoroscopic-guided interventional procedure and how to reduce the radiation dose of patients and staff. Two aspects of fluoroscopy exposure differ from other types of medical radiation exposure, including computed tomography. One is that the entrance surface dose during an interventional procedure may be very high, so the deterministic effects of radiation such as skin or corneal injury should be emphasized more than stochastic effects such as cancer risk. The other is that the variation in radiation exposure is great for the same kind of procedure, so it is very difficult to generate a reference level for the radiation dose. Therefore, it is necessary to develop a guideline for the use of fluoroscopy through a nationwide survey about irradiation during fluoroscopic examinations and fluoroscopy-guided intervention procedures. In conclusion, radiation exposure by fluoroscopic guided intervention is not negligible, and the practitioner should always aim to reduce radiation exposure during interventional procedures.

Keywords: Radiation dosage; Fluoroscopy; Interventional radiography; Radiation monitoring; Radiation skin injury

서 론

의료영역에서의 방사선 피폭은 사용함으로써 얻는 이득(정확한 진단과 적절한 치료 등)이 크기 때문에 암이나 백내장의 발생과 같은 위해성에도 불구하고 진단 및 치료 영역에서 널리 사용되고 있다. 특히 진단 의료영역에서의 방사선의 경우, 발생하는 방사선량이 상대적으로 적고 이로 인한

신체 피해가 대체로 즉시적이지 않아 일반인뿐만 아니라 의료에 종사하는 전문가들조차도 이에 대한 정확한 이해 없이 위해성을 과소평가하거나 오히려 과대평가하기도 한다. 하지만, computed tomography (CT)를 비롯, 의료행위에 투입되는 방사선 검사가 늘고 있고 이로 인해 누적 방사선량에 대한 위험이 증대되고 있는 실정이며 2009년에 발간된 National Council on Radiation Protection & Measure-

ments (NCRP) 보고서 160에 따르면 1980년대 초 미국에서의 이온화 방사선 노출의 대부분(83%)은 자연방사선에 의한 것으로 의료방사선의 비율은 약 15% 정도였지만, 2006년 조사에서는 의료방사선의 비율이 현저히 증가하면서 거의 50%에 육박하게 되었다[1]. 이는 상당 부분 CT 검사의 증가로 인한 결과이지만, 투시검사(fluoroscopy)와 이를 이용하는 중재적 시술(fluoroscopic guided interventional procedure) 역시 최근 현저히 증가되었음을 확인할 수 있고, 특히 같은 신체 부위에 대한 장시간의 방사선 피폭으로 인하여 노출 부위, 특히 피부의 방사선량이 과도히 많아질 수 있기 때문에 오히려 환자 개개인의 피폭량 측정과 저감화는 CT 검사보다 더 중요할 수 있겠다. 실제로, 중재방사선 시술 발생한 피부의 손상은 이미 여러 보고서를 통해 문제화 된 바 있고[2-4], 이에 2000년 9월에 국제원자력기구 내 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 '중재적 의료절차에서 방사선 상해의 예방'이라는 간행물을 발간하여 중재시술 시 투시에 의해 발생할 수 있는 방사선 위험의 중요성과 이를 예방하기 위한 권고사항을 발표하게 되었다[5]. 내용을 살펴보면, 중재방사선 시술 수행에서 방사선 상해와 이의 잠재성에 대한 충분한 이해를 하고 중재적 시술에 사용되는 방사선 기기의 성능과 기술인자를 측정하며, 시술자 역시 선량을 감소시키는 방법을 유념하여 실천하도록 권고하고 있다. 이에 본고에서는 투시검사에서의 고려해야 할 방사선 피폭의 특징을 살펴보고, 그동안 국내외에서 발표된 조사를 통해 투시유도하 중재시술로 인한 방사선 피폭의 실태, 그리고 저감화 방안을 살펴보고자 한다. 상부위장관 조영술이나 진단용 투시검사 등 고식적인 투시검사로 인한 방사선 피폭은 의료방사선 피폭에서 차지하는 비율이 그다지 크지 않고 실태조사가 거의 이루어지지 않아 본고에서는 다루지 않았음을 미리 밝혀둔다.

투시 방사선 피폭의 특징

모든 방사선 검사(단순촬영 및 CT를 포함)는 X선관에서 발생한 방사선을 여과(filtration)와 시준(collimation)을 거친 다음, 공기 중에 방출하여 환자에 투영하고, 반대편에 위

치한 X선 검출기(film, image intensifying tube, flat panel detector 등)로 투과한 방사선을 포집하여 이를 영상화하는 단계로 구성된다. 단순촬영은 관심 부위에 초점을 둔 조사야에 대해 적당히 높은 관전압과 관전류를 가하여 발생시킨 방사선을 매우 짧은 시간(수십 분의 1초) 동안 노출하여 영상을 얻게 되며, 이로 인한 환자 피폭의 양은 적다(단순 흉부 촬영의 경우, 0.1 mSv) [6]. 하지만 CT의 경우, 높은 관전압(80-140 kV)과 높은 관전류(~400 mA)를 이용하고, 필요한 단면영상을 얻기 위하여 환자의 상하방향(cranio-caudal direction)으로 검사범위(scan range)를 결정하므로 비교적 넓은 조사야를 갖게 되며 따라서 단순촬영에 비해 매우 많은 양의 방사선 피폭이 일어난다(흉부 CT의 경우, 7 mSv) [6].

투시검사는 단순촬영과 비슷한 수준의 관전압(80-100 kV)과 매우 낮은 관전류(<10 mA)를 이용하지만, 검사 및 시술 부위에 대한 장시간의 피폭이 불가피하다. 일반적으로 각 기기마다 비슷한 수준의 관전압과 관전류를 사용하여 검사한다는 가정하에, 투시시간이 투시검사에서의 피폭량을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 하지만 의외로 투시시간은 실제 환자의 피폭량과 단순히 비례하지 않는데, 이는 투시시간 외에도 환자와 X선관 간의 거리, 각도, 시준기(collimator)의 크기와 모양, 환자와 X선 검출기(receptor) 간의 거리, 확대 여부, 자동노출조절(automatic exposure control) 장치의 사용 등 방사선량을 결정하게 되는 다른 중요한 요인들이 많기 때문이다[7]. 물론 이러한 요인들은 다른 방사선 검사에도 동일하게 적용되는 것들이지만, 투시검사에서는 긴 시간 동안 환자의 위치를 바꾸거나 검사도중 시준범위를 바꾸거나 관심 영역을 확대하는 등 이러한 요인들이 가변적으로 적용되는 경우가 많기 때문에 이로 인한 총 방사선 피폭량의 영향도 크다. 또 한가지 중요한 특징은 같은 부위, 단시간 동안의 피폭이기 때문에 암 발생 등 확률적 영향(stochastic effect)뿐만 아니라, 피부 손상이나 탈모와 같은 결정적 영향(deterministic effect)이 중요시 된다[2-4]. 따라서 시술 중 입사선량의 감시(monitoring)가 매우 중요하게 된다. 마지막으로, 특히 중재적 시술의 경우, 노출 조건과는 무관하게 투시검사와 중재 시술의 난이도와 시술자의

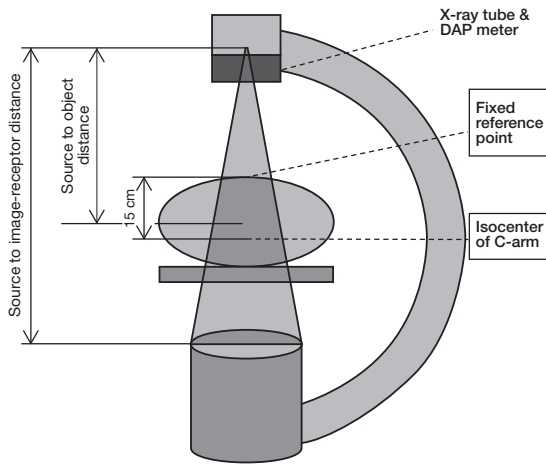


Figure 1. Fixed reference point. DAP, dose-area product.

숙련도가 방사선 피폭의 또 다른 매우 중요한 요인이다. 실제로 각종 조사에서 중재적 시술의 방사선 피폭량은 매우 다양하며 방사선량 권고치(reference dose level)를 제시하기 쉽지 않다. 이는 같은 종류의 시술이라 할지라도 환자나 병변의 상태나 정밀시술의 여부, 시술자가 선호하는 시술법 혹은 숙련 정도에 따라 피폭량은 다양할 수 있기 때문이며, 이를 인위적으로 획일화하거나 규제할 방법은 없지만 시술자의 인식 정도에 따라 줄어줄 수 있는 여지도 상당할 것이라고 생각된다.

투시검사에서의 방사선량 측정방법

투시검사 중 방사선량 모니터링을 하기 위해서는 선량측정계를 이용하여 입사표면선량(entrance surface dose)과 피부를 비롯한 조직의 흡수선량을 측정하여야 하겠지만 실제로 측정하는 것은 거의 불가능하다. 현실적인 방법으로 투시시간 측정과 참고점에서의 공기 커마(air kerma at the reference point) 그리고 선량-면적 곱(kerma-area product [=dose-area product, DAP])을 들 수 있는데, 투시시간 측정은 앞서 언급한대로 투시검사 피폭량에 크게 기여하는 요인이기 때문에 피폭량을 간접적으로 반영할 수 있고, 간편하며 별도의 측정용 장치가 필요하지 않다는 장점이 있

지만, 투입된 X선의 강도나 기기의 성능, 조사면적 등을 반영하지 못하므로 참고자료로 밖에 이용할 수 없다.

참고점에서의 공기 커마는 입사표면선량을 추정하기 위한 대체 방법으로 고정 참고점(fixed reference point)에서의 전하된 공기 입자의 에너지를 측정 혹은 계산하여 대체한다. 고정 참고점이란 투시장비 C-Arm의 X선관과 검출기의 중심을 연결한 선 상에서 C-Arm의 중심부로부터 X선관 쪽으로 15 cm 이동한 지점을 말하며(Figure 1), 이 지점은 표준 환자가 테이블 위에 누워있다고 가정할 경우 환자의 skin이 위치하는 지점과 대략 일치한다. 즉 환자의 추정된 입사표면선량이라고 할 수 있지만, 일반적으로 DAP meter를 통해 측정된 DAP로부터 계산을 통해 얻어지는 경우, 환자의 입사면 혹은 주변의 물체로부터의 산란선이 고려되지 않았으므로 오차가 있다. DAP는 투과 면적 내의 총 X선의 세기로 정의할 수 있으며, X선관을 꼭지점으로 하는 뿔모양의 X선 분포가 중심과 주변부가 모두 일정한 세기를 갖고 있다고 가정하면 X선이 통과하는 평면의 면적과 한 점에서의 X선의 세기(공기 커마)의 곱으로 계산할 수 있다. 이론적으로 한 X선관에서 발생하여 시준기로 범위를 정한 X선은 X선관으로부터의 거리와 관계없이 같은 DAP를 갖는다(Figure 2). 즉, DAP는 환자를 향해 투입된-엄밀하게 말하면 환자에게 투입된 양(피폭선량)과는 차이가 있을 수 있다. 총 방사선 에너지의 양과 비례한다. 이의 임상적 의의는 첫째, 계산을 통해 환자의 흡수 선량과 유효 선량을 얻을 수 있다. 이를 다른 방사선 피폭 경력과 더하여 환자의 누적 선량과 이에 따른 피폭 환자의 확률적 영향을 유추할 수 있다. 실제로 Bor [8] 등은 DAP에 변환계수(conversion factor)를 곱하여 얻은 값이 열형광 선량계(thermoluminescent dosimeter, TLD)로 직접 측정한 방사선량과 비교하여 많은 차이가 없다고 보고하였다. 두 번째 임상적 의의로는 환자의 피폭 면적을 정확히 알 수 있다면, 면적-선량 곱을 면적으로 나누어 입사 선량을 계산할 수 있는데, 설령 피폭 면적을 모른다고 하더라도 앞에 설명한 고정 참고점의 개념을 이용하면 대략의 입사 선량을 계산할 수 있다. 실제로 투시장비 내에 설치되어 있는 방사선 측정기는 DAP를 측정하는 기계(DAP meter)이고, 검사 중 모니터에 표시되거나 검사 후 피폭보고서에 기

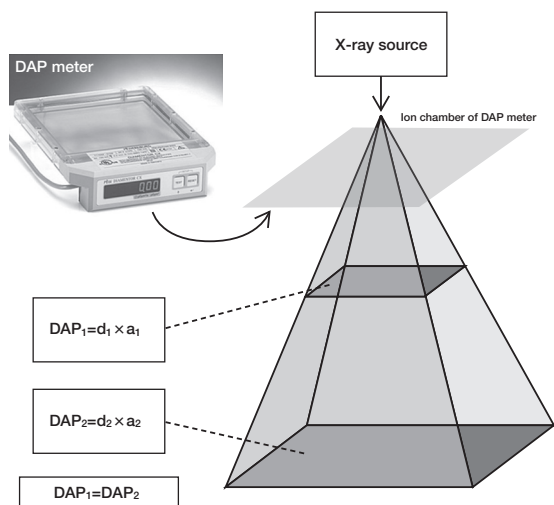


Figure 2. Kerma (dose)-area product. DAP₁, dose-area product at the upper position; d₁, radiation dose at the upper position; a₁, irradiated area at the upper position; DAP₂, dose-area product at the lower position; d₂, radiation dose at the lower position; a₂, irradiated area at the lower position.

록되는 입사선량도 이러한 계산에 의한 대략적인 값이다. 즉, 피부손상이나 탈모와 같은 방사선 피폭의 결정적 영향을 막기 위한 감시 지표로도 이용할 수 있다.

중재적 시술 영역에서의 환자 방사선량 조사: 국내외 연구

구미 각 국, 특히 영국에서는 중재적 시술 시 환자 피폭선량에 대한 연구를 1990년대 중반부터 꾸준히 수행해왔다 [9-10]. 이 중 미국에서 U. S. Food and Drug Administration의 요청으로 미국중재방사선학회(Society of Interventional Radiology)의 주도 하에 수행된 중재 방사선 피폭에 대한 대규모 연구에 대해 소개하고자 한다. Balter 등 [13], Miller 등[14], 그리고 Miller 등[15]은 약 3년여에 걸쳐 7개의 대학병원 규모의 의료기관에서 시행된 21가지의 투시 유도 하 중재 시술의 방사선량을 조사하고자 하는 다기관 연구(RAD-IR study)를 수행하여 2003년과 2004년에 걸쳐 3부의 논문을 Journal of Vascular and Interventional Radiology에 발표하였다. 첫 번째 논문은 중재시술 중 방사선

량의 종합적인 측정에 대한 내용으로 연구에 참여한 전체 병원에서 시행된 총 2,142건의 중재적 시술을 조사하여 방사선량에 관한 자료를 수집하였고, 측정된 자료의 종류로는 투시시간(fluoroscopic time), 영상매수(number of images), DAP, 그리고 누적선량(cumulative dose)이었다. 누적선량이란 앞서 설명한 고정 참고점에서의 공기 커마를 총 투시노출 동안 합산한 양으로 정의하였다. 이들은 많은 중재 시술 중 다양한 종류의 색전술, transjugular intrahepatic portosystemic shunt (TIPS), 신장동맥이나 장간막동맥 내 스텐트 삽입술에서 유의하게 환자 방사선량이 높았고, 전체 시술 중 약 6%에서는 누적선량이 5,000 mGy 이상이었다고 하였다. 또한 같은 종류의 시술이라도 각각 방사선 노출의 정도가 매우 다양하다고 보고하였다. 시술 중 두 번째 논문인 skin dose에 관한 내용에서는 일부 장비에 내장되어 있는 skin dose mapping program (CareGraph; Siemens Medical Systems, Malvern, PA, USA)을 이용하여, 환자의 자세 변환과 C-Arm의 회전 등을 컴퓨터로 계산하여, 누적선량의 분포를 환자의 몸에 매핑하여 가장 많은 방사선이 피폭된 부분과 그곳에서의 최대피부흡수선량(peak skin dose, PSD)를 계산해내어 시술 별로 비교하였다. 총 800건의 시술에 대해 조사가 이뤄졌고, 뇌동맥파리의 Guglielmi detachable coil (GDC) 코일 색전술, 간동맥 화학색전술(transcatheter arterial chemoembolization, TACE), 뇌의 동정맥기형 색전술, 그리고 척추의 동정맥기형과 종양의 색전술에서 PSD가 5,000 mGy 이상으로 측정되었다. 특히 척추의 혈관 시술은 난이도가 높아 시술 건수의 14-27%에서 5,000 mGy 이상 방사선이 환자에게 피폭되었다. 마지막 논문은 방사선량 측정장치의 정확도에 대한 논문으로 RAD-IR study에서 측정하여 제시한 임상 방사선량은 국제전기표준 International Electrotechnical Commission Standard에 잘 부합되므로 믿을 수 있다고 하였다. 이상의 연구로부터 저자들은 각 중재적 시술에서 환자 방사선량의 75 백분위수에 해당하는 참고준위(reference level)를 정하여 2009년 북미방사선의학회지(Radiology)에 발표하였다[16].

국내에서는 2007년 서울대학교 정진욱 교수 연구팀을 중심으로 ‘중재적 방사선 분야에서의 환자피폭선량평가’라는

제목의 다기관 연구가 국내 여러 대학병원에서 수행되었다 [17]. 대상 중재 시술은 널리 시행되고 있는 TACE, 혈관투석을 위한 동정맥루 설치, 경피적담관배액술(percutaneous transhepatic biliary drainage, PTBD), 뇌혈관조영술, 그리고 GDC 코일을 이용한 뇌동맥파리 색전술 등 총 5가지 시술로 하였고 각 시술당 환자가 받게 되는 피폭선량을 측정하기 위해 DAP를 측정하고 이를 변환 계수를 이용하여 유효선량을 구하였으며, 주요 신체 부위에 TLD chip을 부착하여 입사선량을 측정하였다. 이와 함께 중재적 시술을 담당하는 의사들에게 설문 조사를 통해 환자피폭선량에 대한 인식도를 조사하였다. 결과를 살펴보면 TACE의 평균 유효선량은 25.43 mSv였고, 평균 입사선량은 511.75 mGy였지만 최대 입사선량은 약 4,346 mGy로 일부 난이도가 높거나 시간이 오래 걸리는 시술의 경우 환자의 피부 손상에 대한 주의를 요해야 한다고 하였다. 뇌혈관 조영술의 경우, 평균 유효선량은 22.6 mSv였고, GDC coil 색전술의 경우 유효선량을 구하지 못하였지만 평균 입사선량이 약 2,264 mGy로 유효선량 역시 상당히 높을 것으로 추정된다고 보고하였다. 외국과 국내의 연구를 비교해보면(Table 1), PTBD시의 피폭량은 한국에서의 조사결과에서 낮았지만, TACE와 GDC 코일 색전술에서의 피폭량은 거의 비슷하였고, 특히 신경계 색전술의 DAP와 누적선량이 높는데, 이는 높은 시술의 난이도 뿐만 아니라 정확한 진단과 안전한 시술을 위해 대부분 biplane 장비를 사용하기 때문으로 설명할 수 있다. 또한 연구결과에서 주목해야 할 부분은 같은 종류의 시술이라도 방사선량의 편차가 매우 크다는 것이다(Table 2). 이는 시술의 세부내용이 각 환자마다 다르고 시술의 난이도도 다르기 때문이지만, 시술자가 시술 중 방사선 피폭에 대한 이해를 높임으로써 상당부분 개선될 수 있다는 사실의 방증이기도 하다.

이상 여러 국내외 연구에서 살펴보았듯이, 중재 시술 시 환자 피폭선량은 혈관 촬영 횟수와 투시 시간에 크게 좌우되지만, 이는 인위적으로 조절하기에는 한계가 있고, 대신 혈관조영기의 타입이나 설정 조건과 시술자의 인식 정도에 따라 피폭선량을 줄일 수 있는 여지가 있으므로 이에 대한 교육과 관리가 필요하다.

시술자의 방사선 피폭

ICRP 보고서 85번에는 환자의 방사선 피폭뿐 아니라 시술자를 비롯한 의료진이 중재적 시술 절차에서 받을 수 있는 방사선 피폭에 대해서도 다루고 있는데, 주로 시술범위 내에 들어가는 손의 직접 피폭과 환자나 테이블로부터의 산란선에 의한 피폭, 그리고 양은 적지만 X선관으로부터의 누출 방사선(leakage x-ray)에 의한 피폭이다[18]. 환자의 피폭선량보다는 아무래도 적기 때문에 피부 손상과 같은 증상이 나타나기는 어려우나, 가끔 백내장과 같은 수정체의 손상, 그리고 조사야에 노출된 시술자의 손의 피부손상 등이 보고된 바 있다. ICRP 보고서에 따르면 중재방사선 시술자가 지속적으로 3개월간 총 4,000 mGy의 방사선(3개월 이상일 경우 5,500 mGy)을 눈에 받으면 백내장이 발생할 수 있다고 언급하고 있고, NCRP 보고서에 따르면, 약 150 mSv가 백내장의 문턱선량이라고 알려져 있다[19]. 또한 방사선의 직업적 노출로 인한 누적 방사선량도 무시할 수 없는데 이로 인한 발암의 가능성도 염두에 두어야 한다[20]. 실제로 1997년 캐나다 온타리오 지방에서 2명의 중재방사선 의사에게 뇌종양이 발생하였다는 보고가 있고[21], 다른 전문과목의사에 비해 영상의학과 의사가 혈액암이나 림프종 같은 암 발병 위험이 높다는 이전 보고가 있다[22]. 방사선 피폭 방지용 의류는 약 0.25-1 mm 두께의 납과 같은 정도의 방호력을 보이며 약 90%가량의 산란선을 차폐할 수 있다고 한다. 또한 납을 포함한 보안경 역시 약 95%의 X선을 감쇄시킨다고 한다. 따라서 이러한 개인방호장비를 반드시 착용하여야 한다.

투시검사 시 환자와 시술자의 피폭을 줄이기 위한 전략: 13 Pearls

앞서 말한 대로 투시 시간을 줄이거나 촬영 횟수를 줄이는 노력 외에도 환자와 시술자의 피폭을 줄일 수 있는 기술적인 방법이 있는데[23,24], 이에 대해 간략히 설명하고자 한다. 환자와 X선관 간의 간격은 최대한 멀게 하여 입사면의 방사선 세기를 최대한 줄이고, 환자와 영상수용기(image receptor) 간의 간격은 최대한 가까이 한다. 환자와 X선관

Table 1. Comparison of radiation dose metrics between the USA and Korea surveys

Procedures	USA (2003)				Korea (2008)			
	Fluoroscopic time (min)	No. of images	DAP (Gy·cm ²)	Cumulative dose (mGy)	Fluoroscopic time (min)	No. of images	DAP (Gy·cm ²)	Cumulative dose (mGy)
TACE	16.8 (2.1-69.5)	216 (16-586)	282 (17-904)	1,406 (61-6,198)	16.6 (1.4-48.6)	108 (19-409)	210 (26.8-714)	512 (44-4,346)
TIPS	38.7 (3.5-153.1)	231 (5-813)	335 (14-1364)	2,039 (104-7,160)				
AVF					18.8 (5.4-45.8)	55.3 (0-99)	27.7 (10.7-84.8)	31.8 (3.1-81.7)
PTBD	23.6 (1.1-174.4)	15 (2-53)	70.6 (3-386)	907 (21-4,831)	4.2 (0.8-17.8)	2.9 (0-11)	18.5 (1.7-18.5)	58.6 (5.4-243)
Cerebral angiography					9.3 (1.5-27.4)	345.6 (85-1,049)	226 (46.6-620)	405 (39.6-1,646)
GDC coil embolization	75.0 (15.2-401.3)	1070 (292-2,440)	283 (68-825)	3,767 (1,284-9,809)	51.1 (22.1-115.7)	272 (46-635)		2,264 (314-14,185)

DAP, dose-area product; TACE, transcatheter arterial chemoembolization; TIPS, transjugular intrahepatic portosystemic shunt; AVF, arteriovenous fistula; PTBD, percutaneous transhepatic biliary drainage; GDC, Guglielmi detachable coils.

From Miller DL, et al. J Vasc Interv Radiol 2003;14:711-727, with permission from Elsevier [13] and Chung JW; Korea Food & Drug Administration. Evaluation of patient dose in interventional radiology. Seoul: Korea Food & Drug Administration; 2007 [16]

Table 2. Maximum, minimum, and mean values of entrance skin doses and their standard deviations during the interventional procedures in Korea

Procedures	Entrance skin dose (mGy)			
	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
TACE	44.25	4,346.08	511.745	577.849
AVF	3.13	81.71	31.77	24.63
PTBD	5.41	243.13	58.60	61.52
Cerebral angiography ^{a)}	39.59	1,646.07	373.85	248.52
GDC coil embolization ^{a)}	314.49	14,185.36	2,264.03	3,351.26

From Chung JW; Korea Food & Drug Administration. Evaluation of patient dose in interventional radiology. Seoul: Korea Food & Drug Administration; 2007 [16].

TACE, transcatheter arterial chemoembolization; AVF, arteriovenous fistula; PTBD, percutaneous transhepatic biliary drainage; GDC, Guglielmi detachable coils.

^{a)} Entrance skin dose on occipital area

과의 거리가 반으로 줄 때마다 입사선량의 강도는 4배씩 증가한다. 반대로 영상수용기와 환자와의 거리가 반으로 줄 때마다 같은 영상화질을 구현하기 위한 입사선량의 강도는 반으로 감소하며 이와 함께 산란선에 의한 환자와 시술자의 이차피폭을 줄일 수 있다.

고전압/저전류 기능(high kV/low mA option, low dose option, chest option)을 선택하여 검사한다. 전압을

높이면 X선의 투과가 좋아져 영상수용기로 쉽게 도달하고 상대적으로 피부의 방사선 노출을 줄일 수 있다. 하지만 너무 높은 관전압을 사용하면 산란선이 많이 발생할 수 있으므로 환자와 시술자의 이차 피폭에 유의해야 한다. 또한 영상의 대조(contrast)가 감소하므로 검사 목적-특히 조영제를 사용하는 검사-에 따라 적절히 사용해야 한다.

펄스 모드(pulsed fluoroscopy)를 사용한다. 이 때 프레임률(frame rate)은 진단이나 시술에 영향을 주지 않는 한 최소로 유지해야 한다.

장시간의 시술 시, X선관-영상수용기 축을 약간 회전하여 입사부위를 바꿈으로써 피부의 손상을 줄일 수 있는데, 이 때 중요한 것은 이전 투시검사의 입사부위와 겹치는 부분이 없도록 하는 것이다. 만약 입사부위가 겹치게 되면, 입사부위의 변경에 의한 방사선량 감소의 효과가 없을 뿐만 아니라, 각도 변경으로 인하여 기계의 출력력이 오히려 증가하여 겹친 부위의 피부선량이 늘어날 수 있다. 예를 들어 전후 방향

에서 측방향으로 각도를 변경하면 X선이 투과해야 하는 환자의 두께가 증가하고, 이를 상쇄하기 위해 출력을 자동으로 높게 된다. 따라서 이를 감안한 충분한 각도 변경이 필요하다.

비만환자의 경우에는 방사선 유발 피부 손상의 위험이 증가하는데, 환자에 의한 X선의 감쇄로 투과가 저하되어 이를 상쇄하기 위해 보다 강한 X선이 필요하고 이는 피부의 흡수 선량을 증가시키게 된다. 따라서 투시시간을 줄이기 위한 시술자의 특별한 노력이 필요하다.

영상확대(magnification)의 사용을 줄인다. 영상확대를 하면 단위면적의 방사선 수가 감소하고 이에 따라 영상의 밝기가 감소한다. 이를 자동으로 보정하기 위해(자동 노출 조절을 사용하면) 더 높은 관전류를 동원하여 영상을 획득하게 된다. 즉 투시 시야(field of view)를 12인치에서 9인치로 감소시킨다면(확대한다면), 상대 입사선량은 약 2배 증가하게 된다.

고화질의 사진(예를 들어 위의 이중 조영 검사 시 점막의 병변을 찾기 위한 사진)을 얻을 필요가 없는 검사라면, 스폿 사진촬영 대신 '마지막 영상 저장(last image hold)' 기능을 이용하여 추가적인 방사선 노출을 막을 수 있다.

X선 collimator를 이용하여 필요 부위에만 X선을 조사한다. 이렇게 하면 피폭부위의 크기 감소뿐만 아니라 산란선의 감소로 인해 입사선량을 줄일 수 있고 영상의 화질도 개선할 수 있다.

시술자는 반드시 보호장구를 착용하고 시술해야 한다. 전면부는 약 0.5 mm Pb, 후면부는 약 0.25 mm Pb의 방호력을 갖추어야 90% 이상의 X선을 막을 수 있다. 각막 손상을 막기 위해 보안경을 반드시 착용하여야 하며 측면 보호가 가능한 장비를 착용하는 것이 좋다.

시간-거리-차폐의 3원칙을 항상 각인해야 한다. 특히 X선관 주위에 보조차폐기구(납유리로 된 스크린이나 실드)를 적절히 배치하여야 한다.

시술자의 손은 조사야 밖에 위치하도록 하여야 한다. 이는 시술자의 손이 입게 되는 피부 손상뿐 아니라, 손이나 금속이 조사야 내에 있을 경우 자동 노출 조절에 의해 더 많은 양의 X선이 나온다는 사실을 인지하여야 한다.

입사된 X선은 환자에 의해 대부분 감쇄되고 약 1-5% 정도만 영상수용기측으로 방사되므로, 측면 투시검사 시 시술자는

영상수용기측에 서서 시술을 해야 한다. 덧붙여 말하면 X선관이 환자 테이블 하방에 있는 undercouch system이 피폭을 줄이는데 유리하며, X선관이 가급적 테이블 위나 방사선차폐 실드의 바깥으로 나오지 않도록 조작하는 것이 중요하다.

시술자의 누적선량을 측정하기 위해 개인선량계를 착용하여야 하며, 대부분 TLD를 포함하는 배치형태의 장치를 많이 이용한다. 이때 가급적 두 부위에 착용하는 것이 바람직 한데, 하나는 갑상선보호대나 보안경의 바깥쪽에 부착하고, 다른 하나는 차폐복 내 가슴부위에 착용한다.

결론

이상에서 살펴본 바와 같이 투시검사로 인한 방사선 피폭 이슈는 시행 건수가 상대적으로 많지 않아 CT만큼 널리 인식되지 않고 있지만, 검사 한 건당 환자의 피폭량은 결코 무시할 정도가 아니며, 특히 TIPS나 대뇌 동맥류 색전술, 스텐트 삽입술 등 고난이도 중재적 시술 시 환자와 시술자에게 조사되는 피폭은 매우 심하다. 따라서 피폭을 줄이기 위한 시술자의 노력이 절대적으로 필요하며, 시술자의 as low as reasonably achievable 원칙의 실천이 어느 영역보다도 필요하다 고 말할 수 있다.

핵심용어: 방사선량; 투시; 중재방사선; 방사선측정; 방사선피부손상

REFERENCES

1. Schauer DA, Linton OW. NCRP report no. 160. Ionizing radiation exposure of the population of the United States, medical exposure: are we doing less with more, and is there a role for health physicists? Health Phys 2009;97:1-5.
2. Balter S, Hopewell JW, Miller DL, Wagner LK, Zelefsky MJ. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair. Radiology 2010;254:326-341.
3. Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, Wagner LK. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 1, characteristics of radiation injury. AJR Am J Roentgenol 2001;177:3-11.
4. Koenig TR, Mettler FA, Wagner LK. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 2, review of 73 cases and recommendations for minimizing dose delivered to patient. AJR Am J Roentgenol 2001;177:13-20.
5. Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. Ann ICRP 2000;30:7-67.

6. Mettler FA Jr, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology* 2008;248:254-263.
7. Jaco JW, Miller DL. Measuring and monitoring radiation dose during fluoroscopically guided procedures. *Tech Vasc Interv Radiol* 2010;13:188-193.
8. Bor D, Sancak T, Olgar T, Elcim Y, Adanali A, Sanlidilek U, Akyar S. Comparison of effective doses obtained from dose-area product and air kerma measurements in interventional radiology. *Br J Radiol* 2004;77:315-322.
9. Ruiz Cruces R, Garcia-Granados J, Diaz Romero FJ, Hernandez Armas J. Estimation of effective dose in some digital angiographic and interventional procedures. *Br J Radiol* 1998;71:42-47.
10. McParland BJ. A study of patient radiation doses in interventional radiological procedures. *Br J Radiol* 1998;71:175-185.
11. Vano E, Gonzalez L, Fernandez JM, Guibelalde E. Patient dose values in interventional radiology. *Br J Radiol* 1995;68:1215-1220.
12. Marshall NW, Noble J, Faulkner K. Patient and staff dosimetry in neuroradiological procedures. *Br J Radiol* 1995;68:495-501.
13. Balter S, Schueler BA, Miller DL, Cole PE, Lu HT, Berenstein A, Albert R, Georgia JD, Noonan PT, Russell EJ, Malisch TW, Vogelzang RL, Geisinger M, Cardella JF, St George J, Miller GL 3rd, Anderson J. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR Study. Part III: Dosimetric performance of the interventional fluoroscopy units. *J Vasc Interv Radiol* 2004;15:919-926.
14. Miller DL, Balter S, Cole PE, Lu HT, Schueler BA, Geisinger M, Berenstein A, Albert R, Georgia JD, Noonan PT, Cardella JF, St George J, Russell EJ, Malisch TW, Vogelzang RL, Miller GL 3rd, Anderson J. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part I: overall measures of dose. *J Vasc Interv Radiol* 2003;14:711-727.
15. Miller DL, Balter S, Cole PE, Lu HT, Berenstein A, Albert R, Schueler BA, Georgia JD, Noonan PT, Russell EJ, Malisch TW, Vogelzang RL, Geisinger M, Cardella JF, George JS, Miller GL 3rd, Anderson J. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part II: skin dose. *J Vasc Interv Radiol* 2003;14:977-990.
16. Miller DL, Kwon D, Bonavia GH. Reference levels for patient radiation doses in interventional radiology: proposed initial values for U.S. practice. *Radiology* 2009;253:753-764.
17. Chung JW; Korea Food & Drug Administration. Evaluation of patient dose in interventional radiology. Seoul: Korea Food & Drug Administration; 2007.
18. Schueler BA. Operator shielding: how and why. *Tech Vasc Interv Radiol* 2010;13:167-171.
19. National Council on Radiation Protection and Managements. Limitation of exposure to ionizing radiation: NCRP report no. 116. Bethesda: National Council on Radiation Protection and Measurements; 1993.
20. Klein LW, Miller DL, Balter S, Laskey W, Haines D, Norbash A, Mauro MA, Goldstein JA. Occupational health hazards in the interventional laboratory: time for a safer environment. *Radiology* 2009;250:538-544.
21. Finkelstein MM. Is brain cancer an occupational disease of cardiologists? *Can J Cardiol* 1998;14:1385-1388.
22. Matanoski GM, Seltser R, Sartwell PE, Diamond EL, Elliott EA. The current mortality rates of radiologists and other physician specialists: specific causes of death. *Am J Epidemiol* 1975;101:199-210.
23. International Atomic Energy Agency Radiation Protection of Patients. 10 Pearls: radiation protection of patients in fluoroscopy [Internet]. Vienna: International Atomic Energy Agency [cited 2011 Nov 18]. Available from: <https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/Documents/Whitepapers/poster-patient-radiation-protection.pdf>.
24. International Atomic Energy Agency Radiation Protection of Patients. 10 Pearls: radiation protection of staff in fluoroscopy [Internet]. Vienna: International Atomic Energy Agency [cited 2011 Nov 18]. Available from: <https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/Documents/Whitepapers/poster-staff-radiation-protection.pdf>.



Peer Reviewers' Commentary

최근 입원기간이 짧고 회복이 빠른 최소 침습적(minimal invasive) 치료가 부각됨에 따라 인터벤션 영상의학뿐 아니라 심장 중재술, 뇌혈관중재술 등의 시술빈도가 높아지고 있다. 따라서 환자뿐 아니라 시술자가 방사선 노출이 빈번해지고 있으나 피폭량을 줄이는 방법에 대해선 아직 널리 알려지지 않은 실정이다. 특히 인터벤션 시술의사 조차도 이해 부족으로 갑상선 보호대나 납안경을 착용하지 않은 채 시술하는 예를 자주 볼 수 있다. 본 논문은 현재 시행되고 있는 인터벤션 시술 동안의 피폭선량이 생각보다 높다는 것을 보여주며 또한 환자와 시술자가 피폭량을 줄일 수 있는 13 가지의 방법을 제시하고 있다. 이 논문을 통해 시술자는 좀 더 세심한 주의를 기울여 환자가 시술과정에서 최소량의 방사선에 노출되게 하고 시술자도 각종 보호 장비 및 실드 등을 이용하여 스스로를 보호하도록 노력해야 할 것이다. 앞으로 이 논문이 각종 인터벤션 시술을 하는 여러 의사들에게 널리 읽혀지길 바란다.

[정리:편집위원회]