

컴퓨터단층촬영 검사의 방사선 피폭 저감화 방안

도 경 현¹ · 성 동 욱² | ¹울산대학교 의과대학 서울아산병원 영상의학과, ²경희대학교 의과대학 영상의학과

Strategies of computed tomography radiation dose reduction: justification and optimization

Kyung-Hyun Do, MD¹ · Dong-Wook Sung, MD²

¹Department of Radiology and Research Institute of Radiology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul,

²Department of Diagnostic Radiology, Kyung Hee University School of Medicine, Seoul, Korea

Medical imaging is an indispensable diagnostic tool in modern medicine enabling fast and accurate diagnosis. Recent technological advances in medical equipment and increased utilization of the imaging modality have resulted in a significant increase in the exposure to ionizing radiation. After the rapid adoption of multi-detector computed tomography, computed tomography (CT) is now the single largest source of diagnostic radiation exposure to patients. The risks and benefits from radiation must be carefully considered in all examinations using ionizing radiation, and the principles of justification and optimization should be considered in the proper use of CT examination. Justification means that the examination must be medically indicated and useful. Optimization means that the imaging should be performed using doses that are ALARA (as low as reasonably achievable), consistent with the diagnostic task. This includes understanding and changing CT protocols to perform the same diagnostic task with the minimal amount of radiation exposure while maintaining diagnostic accuracy. Protocols and guidelines are important tools for radiation dose reduction. Understanding the parameters and dose information for CT examination is essential for optimization. If the exam is justified, then the parameters must be optimized to the imaging indication, scan area, body size, age, and weight of the patients. The physician should always assess the radiation risk-benefit ratio for each patient before ordering an examination that uses radiation. Continuing education is essential for the implementation of the principles of patient radiation dose reduction. Physicians and radiologists must be aware of the radiation risks associated with CT exams.

Key Words: Computed tomography; Radiation protection; Justification; Optimization

서론

1895년 뢰트겐이 X선을 발견한 이후 방사선은 빠르게 의 료영역에 적용되었다. 뢰트겐이 X선의 투과성을 증명하기

위하여 사람의 손을 찍어 뼈를 보여준 것이 그 시작이라고 할 수 있다. 1900년대 초반에 이미 방사선이 골절 등의 진 단에 이용되었고, 1·2차 세계대전을 거쳐서 방사선을 이용 한 진단기술은 비약적으로 발전하게 되었다. 의료방사선 검 사는 현대의학에서 질병의 진단에 필수적이며 이를 통하여 환자를 치료할 수 있어서 질병의 발견과 치료과정 추적에 서 많은 이익을 주고 있다. 그러나, 최근 원자력, 생활 방사 선 등 개인에게 도움이 되지 않고 불필요하게 받는 방사선 (방사능)과 혼동되어 위험요소가 강조되는 경우가 있어 국민 들은 방사선을 위험요소로 인식을 하고 있으며 원전 관리 등 과 연관하여 안전에 대한 신뢰도가 떨어지고 있다. 또한 인

Received: May 6, 2015 Accepted: May 20, 2015

Corresponding author: Kyung-Hyun Do

E-mail: dokh@amc.seoul.kr

© Korean Medical Association

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

터넷과 소셜네트워크서비스 활용의 증가로 단기간에 광범위하게 여론이나 의견이 전파가 되는데 일부에서는 전문가 그룹의 의견이 배제된 채로 잘못된 지식이 전파되고 있어 혼란을 주고 있다.

오늘날 늘어난 의료방사선 피폭은 많은 부분이 컴퓨터단층촬영(computed tomography, CT)에 의한 것이며, CT 검사의 방사선 피폭을 저감화하는 것은 의료방사선 관리에 필수적이다. CT는 일반 X선 촬영과 비교하여 높은 방사선 피폭량으로 의료방사선량 증가의 주요 원인이 되고 있다. 미국 방사선방어협회(National Council on Radiation Protection)의 보고에 의하면 1980년대 미국인 1인당 연간 유효선량은 3.6 mSv였으며, 그 중 약 15%인 0.53 mSv가 의료방사선에 의한 것이었지만, 최근 2006년에는 유효선량이 6.2 mSv로 증가하였으며, 그 중 약 절반인 3.0 mSv가 의료적 목적의 피폭이었다고 한다. CT는 의료영상분야에서 17%를 차지하지만(395,000,000건 중 670,000,000건) 의료로 인한 총 방사선량의 49%를 차지한다(1인당 3 mSv 중 1.47 mSv) [1]. 또 2007년 Brenner와 Hall [2]의 보고에 의하면 미국에서 연간 6,200만 건의 CT 검사가 시행되어 1980년과 비교하여 20배 이상의 검사건수 증가를 보였다. 한국의 인구 100만 명당 CT 장비 수는 미국과 같은 수준이며 경제협력개발기구 국가 중 3위에 해당한다[3].

CT 검사는 상대적으로 피폭선량이 높은 검사방법이지만, 기기의 발전으로 빠른 시간에 정확한 정보를 얻을 수 있어서 사용빈도가 증가하고 있다. 검사시간이 짧고 해상도가 높아지면서 진단의 정확도가 높아져서 이전에 CT가 이용되지 못했던 심장, 소아 영역 등에서도 검사가 시행되고 있으며, 다양한 3차원 재구성과 후처리 방법의 적용이 가능하여 임상적 활용도는 점점 높아지고 있는 현실이다. 기기가 발전하면서 이전보다 적은 양의 방사선량으로도 진단정보를 충분히 포함하는 영상획득이 가능함에도 불구하고, 이전에 사용하던 검사 프로토콜을 사용하여 과도한 방사선 피폭이 일어나는 경우가 있다. CT 검사는 디지털 영상의 특성상 선량이 작을 경우 영상의 잡음이 증가하지만, 선량이 과다 되었을 때 화질의 감소가 없어서 이를 잘 알지 못하는 경우가 많다. CT 검사의 방사선 피폭을 적절히 관리하는 것은 의료방사선 피

폭의 관리에 가장 중요한 요소이며, 본 논문에서는 일반적인 의료방사선 방어의 원칙과 실제로 CT 검사에서의 방사선 저감화를 위한 피폭감소 방법에 대하여 알아보고자 한다.

방사선 방어의 원칙

국제방사선방어위원회(International Commission of Radiological Protection, ICRP)에서는 방사선 방어의 관한 많은 권고를 하고 있는데 방사선 방어의 목표는 “방사선 피폭에 의한 결정적 영향의 발생을 방지하고 확률적 영향의 발생확률을 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게 유지한다”이다. 방사선 방어의 목표에서 언급하고 있는 “합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게”라는 서술은 이른바 as low as reasonably achievable (ALARA)라고 불리는 방사선 방어의 개념이다. 이는 “정해진 선량 당량 한계를 절대로 초과해서는 안된다는 조건을 지키면서 모든 것에 정당화할 수 있는 피폭을 경제적 사회적 요인을 고려하여 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게 유지하는 것”을 의미한다. 즉, 환자 개인 및 집단의 방사선 피폭선량은 방사선 진료의 가치를 손상하지 않는 범위 내에서 최소한으로 하는 것을 원칙으로 한다[4]. 따라서 일반적인 방사선 방어의 원리는 정당화, 최적화, 방사선량의 제한으로 이루어져 있다[5]. 그러나 의료방사선 피폭은 ICRP에서 일반적 피폭과 다른 의료방사선 피폭의 특성을 고려하여 의료영역에서 사용되는 방사선 선량은 환자의 이득을 위해서 사용되어야 하고, 최적화되어 있어야 한다고 따로 명시하고 있다. 또한 최적화의 도구로 진단참고수준(diagnostic reference level, DRL)을 제시하고 있다[6]. 일반적인 피폭과 환자 의료피폭의 가장 큰 차이점은 의료피폭의 경우 선량 한도가 없고 의도적인 피폭이라는 것이다. 2007년 ICRP에서 발간한 보고서에 의하면 환자의 의료피폭은 고유한 고려사항이 있어서 기본원칙들이 적용되는 방법에 영향을 미친다는 것이 핵심내용이다. 즉 특정 의료목적에 적합한 선량 수준으로 사용되는 전리방사선은 해로움보다 이로움을 가져오는 핵심 수단이기 때문에 선량 한도는 전혀 해당이 없다[5].

정당화의 원리는 방사선은 환자에 대한 이득이 방사선으로 인해 발생할 수 있는 잠재적인 위험보다 더 가치가 있을 때 사용되어야 함을 말하며, 최적화의 원칙은 ALARA 원리에 입각하여 합리적으로 선량이 쓰여져야 함을 말한다. 최적화에 대해서 설명하면, 의학적 영상의 최적화는 임상적인 이득과 방사선 선량 간의 균형을 맞추는 과정으로 볼 수 있다.

컴퓨터단층촬영 검사에서의 정당화의 원칙과 실행방안

모든 CT 검사는 검사를 시행함으로써 환자가 이익을 얻어야 한다. 불필요한 검사를 하지 않는 것이 방사선 피폭을 줄일 수 있는 최선의 방법이다. 캐나다 영상의학과 의사회(Canadian Association Radiologists)에 발표에 의하면 약 30%의 CT 검사나 방사선 영상 검사가 불필요하며 유용한 정보를 주지 못한다고 하였다[7]. 2010년 JAMA에는 약 9년의 기간 동안 응급실에서의 CT 사용이 3배로 증가하였지만 이 중 일부만 치명적인 손상이었다는 보고가 있다[8]. 우리나라에서도 CT 재촬영 검사의 원인을 분석하였을 때 10% 정도의 검사가 불필요하게 재촬영되었다는 보고가 있다[9]. 이러한 불필요한 검사의 원인은 진단 목적에 맞지 않는 검사 처방, 의사간 대화부재, 방어적 진료, 환자가 원해서, 짧은 검사시간, 보험 및 상대적으로싼 CT 수가, 병원의 인센티브 제 도입에 따른 부작용 등으로 생각된다.

CT 검사에서 발생하는 환자의 피폭은 대부분 의사에 의해 결정된다. 의사는 CT를 시행하기에 앞서 과연 CT 검사에 의한 위험보다 이익이 많은지를 잘 따져보아야 하고, 임상적 목적에 맞으면서 방사선을 사용하지 않는 다른 대체할 만한 검사 방법(예: 초음파나 자기공명영상 검사)은 없는지 고려해야 한다. 따라서 의사는 의학적 판단뿐만 아니라 방사선 피폭에 대한 위험성을 잘 알고 있어야 하며 CT 검사의 처방이나 검사를 하고자 할 때 이러한 위험성을 감수하더라도 환자의 이득이 이러한 위험성을 상쇄할 만큼 가치가 있다는 것을 판단해야 한다. CT 검사에 대한 정당화는 정확한 정보나 인식, 적절한 검사, 감사 또는 평가와 더불어 의뢰의사의

책임감, 제도적 뒷받침, 인적 물적 자원이 결합될 때 잘 이루어질 수 있다[10].

환자의 진단목적에 맞는 검사를 선택하기 위하여 미국, 영국 등에서는 영상검사 의뢰 가이드라인이나 의사결정지원 시스템을 만들어 여러 가지 임상적 상황에 따라 가능한 영상 의학적 검사들과 검사별 상대적인 피폭량을 알려주고 표준화된 경로를 제시하고 있어 결정에 도움을 주고 있다. 우리나라에서도 영상검사 관련 가이드라인들이 제작되어 배포되고 있으나 아직 그 활용이 미미한 상태이며, 지속적인 개발과 활용이 필요하다. 대표적인 가이드라인은 미국영상의학회의 'Appropriateness Criteria,' 호주의 'Diagnostic Imaging Pathways,' 영국 Royal College of Radiologists의 'Making the Best Use of Clinical Radiology Service' 등이 있다.

컴퓨터단층촬영 검사에서의 최적화의 원칙과 실행방안

CT 검사의 선량 최적화는 선량을 의료목적에 부합하도록 최소로 관리하는 것으로 이해하면 된다. 정당화된 피폭이라도 진단정보를 가지는 범위 안에서 최대한 피폭을 줄이는 노력이 필수적이다. 진단 가능한 적절한 화질을 얻을 수 있는 최소한의 방사선을 이용하여 검사하는 소위 ALARA 원리에 입각하여 DRL을 참고로 하여 적절한 검사를 시행하는 것이 좋다.

컴퓨터단층촬영 기기의 선량표시 방법

CT 검사의 선량을 최적화하기 위해서는 우선적으로 CT 기기의 검사별 선량을 아는 것이 필요하다. 최근에 개발되어 도입된 장비는 선량정보를 쉽게 알 수 있으나, 오래된 장비의 경우 선량이 자동으로 표시되지 않는다. 선량보고지(dose report sheet)가 자동으로 기록되는 장비도 이를 picture archiving communication system (PACS)에 전송하지 않아 사용할 수 없는 경우가 있으므로 이에 대한 교육

	Scan	kV	mAs / ref.	CTDIvol	DLP	TI	cSL
Patient Position F-SP							
Topogram	1	120				5.3	1.0
Pre	2	120	99 / 200	6.96	156	0.5	1.5
PreMonitoring	3	120	20	3.73	3	0.5	1.5
I.V. Bolus Monitoring	4	120	20	3.73	3	0.5	1.5
Artery	5	120	98 / 200	6.86	168	0.5	1.5
Portal	6	120	101 / 200	7.11	228	0.5	1.5
Delay	7	120	96 / 200	6.75	165	0.5	1.5

Figure 1. This dose report was generated on a SOMATOM Sensation 16 (Siemens Healthcare, Forchheim, Germany) computed tomography (CT) scanner during a 4 phase dynamic liver CT. Note the volume CT dose index (CTDIvol) and dose length product (DLP). Dose reports from this scanner include kV, mAs/reference mAs, CTDIvol, DLP, and tube rotation time. This dose report shows separate premonitoring and monitoring radiation doses in regard to bolus tracking. In this exam, a topogram was taken, followed by nonenhanced imaging, bolus tracking, arterial, portal, and delayed phase imaging with a total 4 phases. For nonenhanced liver CT, tube current modulation using Care-Dose 4D was used at 120 kVp with a reference mAs of 200. In this case, the portal phase scan range included the pelvis, which explains the relatively larger scan range and higher DLP. Total DLP was 723 mGy × cm. TI, time per rotation; cSL, collimated slice.

이 우선되어야 한다. 선량표시가 가능한 장비일 경우는 선량보고를 생성하거나 선량을 표시하도록 장비를 세팅하면 각 검사의 선량을 알 수 있고 DRL이나 이전 검사의 선량 등과 비교하여 선량의 정도를 파악하고 저감화를 위한 활동을 하여야 한다[11].

각 검사에서 선량을 아는 것은 환자선량 저감화의 시작이며 이를 알기 위해서는 CT 선량에 대한 기본 지식과 환자선량 측정방법으로 알고 있어야 한다. 방사선량과 관련이 있는 주요한 CT 파라미터는 관전압(kVp), 관전류(mA), 피치(pitch) 등이다. 관전류는 방사선 피폭과 직접 비례하므로 관전류 감소가 가장 쉽고 정확한 방법이다. 대신 잡음이 증가하는 단점이 있다. 따라서 관독에 지장이 없는 한도에서 소음을 허용하는 낮은 mAs를 사용해야 한다. 관전압은 방사선 피폭과 비례하지만 정비례 하지 않으며 관전압의 경우 영상 소음뿐만 아니라 영상 대조도에도 영향을 미치기 때문에 영상 질에 미치는 영향이 관전류보다 복잡하다. 보통 CT에서는 120 kVp의 관전압을 사용하는데, 어린이나 마른 환자의 경우는 80 kVp나 100 kVp의 관전압을 사용하여도 화질이 떨어지지 않는다. 관전류는 최소한으로 사용하고 자동노출제어장치를 사용하는 경우 선량 감소에 중요하다. 피치와

collimation을 증가시키면 피폭량은 줄지만 overranging이 증가하게 되는 부작용이 있다. 자동노출제어장치를 이용하면 효과적으로 일관된 영상의 질을 유지하면서 해부학적 변이에 따라 방사선량을 조절하여 현저하게 방사선량을 줄일 수 있다. 하지만 이미 최대로 저감화된 프로토콜을 사용 중이라면 효과가 크지는 않을 수 있다. 그 외에도 active z axis collimation을 통해 overscanning을 줄이는 방법이 있고 관심부위 밖에 있는 갑상선, 유방 등 방사선에 민감한 장기들이 흉부 CT 촬영 시 피폭이 많이 될 수 있는데 자동장기기준 제어장치를 통해 방사선에 민감한 조직의 주변을 돌아 갈 때 X-ray가 나오지 않도록 하는 방법도 최근 개발되었다. 자신이 사용하는 CT 기종에 어떤 피폭 저감화 방법이 사용 가능한지 자신의 병원 프로토콜에 이러한 다양한 기능들을 사용하도록 설정해 놓았는지 확인하는 것이 꼭 필요하다.

CT dose index (CTDI)와 dose length product (DLP)는 CT에 의해 발생하는 선량을 나타내는 수치로 중요하게 이용되지만, 표준팬텀을 가지고 계산하는 수치로 각각의 환자의 키, 체중, 나이, 체형 등 환자 고유의 특성을 반영하고 있지 않아 검사 중 환자가 실제로 받는 선량을 정확히 측정할 수는 없다. 대부분의 다중채널 CT에서 CT촬영 파라미터를 기반으로 수학적 계산을 이용하는 팬텀으로 예측선량을 계산하여 volume CT dose index (CTDIvol)와 DLP를 CT 콘솔에서 보여준다. 이를 dose report라 한다. Dose report는 PACS로 전송하여 각 환자의 검사에서 환자선량을 추정할 수 있게 한다(Figures 1,2). 이 때 DLP 값에 변환인자를 곱하여 유효선량을 추정할 수 있으나 실제 환자 선량관리에서는 DLP 값이 중요하다.

DLP를 낮추는 것은 중요한 선량조절 방법이다. 많은 CT 검사들이 단일위상(single phase) CT로도 충분히 진단이 가능하다. 조영증강 전후 CT가 꼭 필요하거나 역동적 CT가 필요한 몇몇의 경우 이외에는 여러 차례 반복된 영상의 얻는 경우를 피해야 한다. 꼭 필요한 경우가 아니면 조영증강 전 CT를 시행하지 않는 것이 좋고 조영증강 전 검사가 꼭 필요한 경우에도 조영증강 전 CT에서 얻어야 되는 정보에 따라 CTDI를 좀더 낮출 수 있는 방법을 고려해야 할 것이다. 스캔범위는 방사선 피폭량과 비례하기 때문에 꼭 필요한 부위

Patient Name:			Exam no: 38035		
Accession Number:			2015 Apr 15		
Patient ID:			LightSpeed VCT		
Exam Description: R5268LCT, Dynamic Liv					
Dose Report					
Series	Type	Scan Range (mm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom cm
1	Scout	-	-	-	-
2	Helical	\$39.750-1160.250	8.04	198.07	Body 32
200	Axial	\$39.000-\$39.000	4.69	2.34	Body 32
3	Helical	\$39.750-1160.250	8.04	198.07	Body 32
3	Helical	\$39.750-1230.250	8.04	254.35	Body 32
3	Helical	\$39.750-1160.250	8.04	198.07	Body 32
Total Exam DLP:				850.89	
1/1					

Figure 2. This dose report was generated on a LightSpeed VCT scanner (GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA) during a 4 phase dynamic liver computed tomography (CT) in a 44-year-old woman. Note the volume CT dose index (CTDIvol) and dose length product (DLP). Dose reports from this GE scanner include scanning type, scan range, CTDIvol, and DLP. Series 200 shows the radiation dose occurring during contrast bolus tracking. In this exam, a scout image was taken, followed by nonenhanced imaging, bolus tracking, arterial, portal, and delayed phase imaging with a total 4 phases. In this case, the portal phase scan range included the pelvis, which explains the relatively larger scan range and higher DLP. The total DLP for this patient is estimated as 850.89 mGy × cm.

만 검사에 포함시켜야 하며, 관심부위에 집중하여 검사를 시행할 필요가 있다. 흉부 CT 촬영 시 경부를 포함하는 경우 방사선 피폭량이 흉부만 촬영하는 것보다 현저히 증가하며 FOV (field of view)의 차이로 경부는 진단적 가치를 충분히 포함하고 있지 않은 경우가 많다. 따라서 진단목적이 맞는 최소의 범위를 촬영하고 불필요하게 겹치는 스캔범위를 줄여야 한다.

Dose report가 선량관리에 가장 기본이 되므로 dose report가 되는 장비에서는 환자를 검사할 때 반드시 dose report를 생성하여 PACS로 전송하도록 하여 판독 의사가 수시로 선량을 검토하여야 한다. 식품의약품안전평가원 보고서에 따르면 우리나라에 설치되어 있는 CT는 2013년에 1,929대였는데 장비명칭으로 조사하였을 때 dose report가 안되는 장비는 43%였고 외부병원 CT를 조사하여 dose report가 가능하지만 기관에서 안볼 것이라고 추정된 장비는 29.7%로 우리나라의 CT 장비 중 57%만 CT dose report가 생성될 수 있고 전체 장비 중 25% 정도에서만 dose report를 생성하여 CT 영상의 뒤에 붙여서 관리하고 있는 것을 알 수 있었다[12]. 따라서 각 의료기관에 안내와 교육을 통해서

선량정보를 잘 활용할 수 있도록 하여야겠다.

또한 검사 시행의 목적과 과거 검사에서의 정보를 확인하여 임상상황에 맞는 검사를 하여야 한다. 재검사를 줄이기 위하여 환자에게 충분히 검사의 방법에 대하여 설명해 주어 촬영에 잘 협조할 수 있어야 한다. 어린이나 협조가 잘 되지 않는 환자의 경우 진정을 시켜 한번에 검사를 끝내는 것도 방법이다. 필요한 경우에 방사선 피폭 보호장구를 사용하는 것도 방사선 피폭을 줄일 수 있는 방법이다. 방사선량과 직접적인 상관관계는 없지만 가능한 경우 image noise가 낮은 재구성필터를 사용하여 영상재구성을 하면 저선량 검사에서도 noise를 줄이고 영상화질을 높일 수 있다.

최적화된 검사를 위해서 표준 프로토콜을 가지고 있어야 한다. 환자의 성별, 나이, 검사목적에 맞게 상황에 맞추어 검사의 파라미터를 조절하여야 하지만, 일반적으로 표준 촬영 프로토콜을 마련하여 이에 맞도록 촬영하는 것이 중요하다. 검사 시행 후 선량 보고를 확인하여 그 검사의 선량을 진단참고 수준과 비교하여 볼 수 있다. 진단이 가능한 정도에서의 noise를 허용하는 범위에서 검사 프로토콜을 정하는 것이 좋다.

진단참고수준

의료방사선 피폭에서는 위해와 이득을 동일한 개인 즉, 환자가 받게 되는데, 환자 선량은 주로 의학적 필요에 의하여 결정된다. 그러므로 직무피폭 혹은 일반인피폭과는 다르게 환자에 대해서는 선량 한도를 적용하지 않는다. 그럼에도 불구하고 환자선량을 최적화하여 관리하는 것은 중요하므로, 종종 DRL을 이용함으로써 진단 혹은 중재방사선 검사에서 선량 관리를 돕는다. DRL은 영상의학 검사에서 환자선량이 비정상적으로 높거나 낮은지를 평가하는 지표이다.

DRL은 진단방사선 및 핵의학 분야의 검사 및 시술 과정에서 일상적인 목적으로 사용되는 환자선량이 비정상적으로 높은지를 확인하기 위해 사용되어 온 지표이다. 만약 어떠한 시술이나 검사로 인해 환자가 받는 선량이 지속적으로 DRL보다 높다면, 검토를 통해서 최적화가 제대로 되어있는지를 검토해야 한다. 이런 의미에서 DRL은 방사선 방어에 있어서

Table 1. Diagnostic reference level of computed tomography in Korea (adults)

	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy × cm)
Head	60	1,000
Chest	20	700
Abdomen	15	550

CTDIvol, volume CT dose index; DLP, dose length product.

최적화의 도구로 이용될 수 있으며, 또한 최적화 과정의 기본이 되는 전문적인 판단에 대한 보조적인 도구이다.

각 나라에서는 DRL을 설정하여 환자선량을 낮추려는 노력을 하고 있고 우리나라에서도 일반 촬영, CT, 유방촬영, 소아검사, 치과검사 등에서 DRL을 설정하여 환자선량 관리를 하고 있다(Table 1). DRL의 값은 일반적으로 선량분포조사를 통해서 얻은 분포에서 3사분위수(75%) 값으로 정한다. DRL은 이 수준을 넘어서는 안되는 기준이 아니고 저감화 목표치도 아니다. 어떤 일정 지역 또는 국가의 전체적인 환자선량 조사에서 삼사분위 수이므로 전체 중에 25%는 DRL을 넘게 된다. 이런 DRL을 설정하고 지속적으로 교육 홍보하면서 일정기간 후 DRL을 재조사하여 DRL이 떨어지게 되면 관리가 잘 되고 있다는 것으로 평가할 수 있다.

DRL은 각 개개인의 검사에서의 기준은 아니며 전체적인 검사의 기준으로 이용해야 한다. DRL은 “좋은 검사”와 “나쁜 검사”를 구분하기 위한 절대적인 지표는 아니다. 이는 환자의 임상 상황, 각각의 병원 및 국가마다 가지고 있는 고유한 특성이 있기 때문에 이를 일률적으로 적용할 수는 없기 때문이다. 예를 들어 비만한 환자의 검사에서 DRL보다 낮게 선량을 설정하면 진단할 수 없는 영상이 나올 수 있으므로 개인별 기준이 될 수 없다.

의료진 교육

영상분야의 전문가가 아닌 의사들은 CT 검사의 방사선 피폭량과 다른 검사들과의 관련성에 대하여 정확하게 알지 못하는 경우가 많다. 영상의학과 의사의 76%, 응급의학과 의사의 73%, 환자의 100%가 CT 검사에서의 방사선 피폭량을 과소평가하고 있다고 보고하였고[13], 다른 연구자는 일부

의 의사들만이 방사선 피폭에 대한 올바른 지식을 가지고 있다고 보고하였다[14]. 방사선 위해에 대한 교육은 영상의학과 의사뿐 아니라 검사를 의뢰하는 임상 각과의 임상 의사에 대하여도 이루어져야 하므로 의과대학 교육과정에 포함되는 것이 바람직하다. 하지만 아직도 의과대학 교육 과정에서 이러한 내용은 충분히 반영되고 있지 않다. 영상검사 의뢰 가이드라인이 많이 제작되고 있으나 검사를 의뢰하는 의사의 대부분이 방사선 피폭량이 많은 검사에 의한 방사선량을 저평가하고 있으며 방사선을 이용한 검사를 의뢰할 때 20%의 의사만이 가이드라인을 참고하였다고 한다[15].

환자안전관리는 의료인의 당연한 책무이며 이는 비단 방사선 안전관리만이 해당되는 것은 아닐 것이다. 모든 의사는 자신이 처방하는 CT 검사에 대하여 장단점을 알고 있어야 하며 환자 개인에게 최적의 상황인지 확인하여야 한다. 이는 약을 처방할 때 그 약의 적응증과 부작용을 잘 알고 개인의 특성을 고려하여 처방하는 것과 동일하다고 하겠다.

어린이 컴퓨터단층촬영의 방사선 피폭 저감화 방안

어린이에서도 CT의 이용이 증가하고 있는데 이는 CT 기술의 발달로 영상의 질이 좋아졌고 몇 초 만에 검사가 가능하여 진정의 필요성이 감소하여 협조가 잘 되지 않는 소아 환자들도 촬영이 가능해졌기 때문이다. 미국의 경우 약 8-10%의 CT가 소아에서 시행되는 것으로 추정되며 이온화 방사선을 사용하는 전체 소아의 검사 중 X-ray가 85%로 가장 차지하는 비중이 컸고 그 다음이 CT로 대략 12%를 차지했다[1]. 특히 소아의 응급실에서 CT 사용이 급격히 증가하였다[16].

환자가 어릴수록 방사선에 의한 위험이 크며 소아는 성인보다 체격이 작아 성인과 같은 촬영조건으로 검사를 시행할 경우 장기선량 organ dose가 더 높고 피폭에 의한 위험이 어른보다 높기 때문이다. 또한 불필요하게 방사선량을 많이 주고 검사를 하더라도 영상만 보았을 때는 이를 인지할 수 없어 특히 주의를 요한다. 따라서 몸의 크기에 따라 피폭량을 낮춘 소아전용 프로토콜이 필요하다. 소아 검사에서는 방사

Table 2. Diagnostic reference level of computed tomography in Korea (pediatrics)

	Age	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy × cm)
Head	Newborn	16	210
	1 mo-1 yr	20	260
	2-5 yr	28	370
	6-10 yr	36	500
Chest	Newborn	2	25
	1 mo-1 yr	3	45
	2-5 yr	5	100
	6-10 yr	6	120
Abdomen	Newborn	2	50
	1 mo-1 yr	3	80
	2-5 yr	6	180
	6-10 yr	8	240

CTDIvol, volume CT dose index; DLP, dose length product.

선량을 감소시키기 위해 방사선 출력량 감소, 검출 시기의 조절, 관심 부위에 국한된 방사선 조사 영역의 최소화 작업을 시행해야 한다[17]. 우리나라에서는 소아 CT의 표준프로토콜과 DRL 개발을 위한 연구를 진행하였으며 어린이의 DRL은 Table 2와 같다.

미국의 경우 미국 소아영상의학회의 주도로 소아검사에서의 피폭을 줄이기 위하여 Image Gently 캠페인을 시작하였다. 현재 60여 개의 관련된 전문가 학회와 관련단체의 동참으로 확대되었다. 웹사이트를 통하여 소아의 CT 검사 시 방사선량을 최소화하는 방법과 의료피폭에 대한 교육자료를 의사와 방사선사, 환자와 보호자에게 제공하고 있다[18].

결론

의학에서 영상의학검사는 환자의 진단과 치료에 매우 중요한 역할을 하며 최근 기술의 발달로 인하여 CT가 발전하여 임상에서 매우 흔히 사용되고 있다. 환자 안전관리는 독립적으로 수행되어야 하는 것이 아니라 다른 의료행위와 마찬가지로 장비와 병원 시스템의 관리를 통하여 달성될 수 있으며 CT 선량 관리 역시 환자 안전관리의 관점에서 종합적으로 이루어져야 한다.

의료방사선 피폭에 있어서는 환자가 방사선 촬영으로 반드시 이득을 받을 때만 검사해야 한다는 정당화의 원칙에 맞

을 경우에, 진단이 가능한 최소한의 방사선량으로 검사가 이루어질 수 있어야 한다는 최적화의 원칙을 지켜야 한다. 또한 의료피폭에 선량 한도는 없지만, DRL을 이용하여 환자 선량을 저감화할 수 있다. 환자선량을 줄이기 위하여 무조건 영상의 질을 훼손시키는 것은 올바른 최적화가 아니다.

CT 검사에서 방사선 피폭의 저감화 방법에는 크게 2가지가 있다. CT 검사가 꼭 필요한 경우만 검사를 시행하는 것과 꼭 필요해서 검사를 시행할 때는 검사의 목적에 맞으면서 최소한의 선량으로 검사를 시행할 수 있는 프로토콜을 사용하여야 하는 것이다. 이를 위해서 의사는 CT 검사로 인한 환자의 이득에 대한 의학적 판단과 방사선 피폭의 위험성에 대하여 잘 알고 위험성을 감수하더라도 환자의 이득이 가치 있다는 것을 판단해야 한다. 영상학과 의사는 영상화질과 관련되어 있는 요소를 알고 CT 방사선량을 줄이는 최적화된 프로토콜로 CT 검사를 시행해야 한다. 그러나 아직 많은 의사와 영상학과 의사가 이에 대한 인식이 부족하므로 이를 위한 교육프로그램이 필요하다. 방사선을 사용하는 검사의 처방과 시행에 관여하는 의사 및 학생, 실제로 검사를 시행하는 방사선사들에 대한 피폭교육을 필수화 하여야 한다. 임상에서의 적용으로 이어지기 위해서는 우리나라 실정에 맞는 검사 가이드라인과 진료지침을 마련하여 방사선 검사의 정당성을 확보하고, 표준촬영 프로토콜의 개발하고 보급함으로써 환자가 안전하고 질 높은 검사를 받을 수 있도록 더욱 노력해야 하겠다.

찾아보기말: 컴퓨터 단층촬영; 방사선 안전관리; 정당화; 최적화

ORCID

Kyung-Hyun Do, <http://orcid.org/0000-0003-1922-4680>

Dong-Wook Sung, <http://orcid.org/0000-0001-8598-6670>

REFERENCES

1. National Council on Radiation Protection and Measurements. Ionizing radiation exposure of the population of the United

- States. Bethesda: National Council on Radiation Protection and Measurements; 2009.
2. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography: an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007;357:2277-2284.
3. United Nations, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of ionizing radiation: UNSCEAR 2006 report to the General Assembly with scientific annexes. New York: United Nations; 2008.
4. International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP publication 26. Oxford: Pergamon Press; 1977.
5. International Commission on Radiological Protection. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP publication 103. [place unknown]: Elsevier; 2007.
6. International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP publication 60. Oxford: Pergamon Press; 1991.
7. You JJ, Levinson W, Laupacis A. Attitudes of family physicians, specialists and radiologists about the use of computed tomography and magnetic resonance imaging in Ontario. *Healthc Policy* 2009;5:54-65.
8. Korley FK, Pham JC, Kirsch TD. Use of advanced radiology during visits to US emergency departments for injury-related conditions, 1998-2007. *JAMA* 2010;304:1465-1471.
9. Kim JH. Appropriate management method for high cost advanced imaging. Seoul: Health Insurance Review and Assessment Service; 2013.
10. World Health Organization. Bonn call-for-action: joint position statement by IAEA and WHO [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2013 [cited 2015 May 31]. Available from: http://www.who.int/ionizing_radiation/medical_exposure/Bonn_call_action.pdf.
11. Park MY, Jung SE. CT radiation dose and radiation reduction strategies. *J Korean Med Assoc* 2011;54:1262-1268.
12. Jung SE. Research for national medical exposure reduction infrastructure. Cheongju: National Institute of Food and Drug Safety Evaluation; 2012.
13. Lee CI, Haims AH, Monico EP, Brink JA, Forman HP. Diagnostic CT scans: assessment of patient, physician, and radiologist awareness of radiation dose and possible risks. *Radiology* 2004;231:393-398.
14. Krille L, Hammer GP, Merzenich H, Zeeb H. Systematic review on physician's knowledge about radiation doses and radiation risks of computed tomography. *Eur J Radiol* 2010;76:36-41.
15. Borgen L, Stranden E, Espeland A. Clinicians' justification of imaging: do radiation issues play a role? *Insights Imaging* 2010;1:193-200.
16. Broder J, Fordham LA, Warshauer DM. Increasing utilization of computed tomography in the pediatric emergency department, 2000-2006. *Emerg Radiol* 2007;14:227-232.
17. Jung AY. Medical radiation exposure in children and dose reduction. *J Korean Med Assoc* 2011;54:1277-1283.
18. Image Gently. The alliance for radiation safety in pediatric imaging [Internet]. Cincinnati: Image Gently [cited 2015 May 31]. Available from: <http://www.imagegently.org/>.

Peer Reviewers' Commentary

본 논문은 환자의 방사선 피폭이 중요한 사회적 관심이 되고 있는 현 상황에서 의료진이 기본적으로 갖추어야 할 방사선에 대한 기본 지식과 더불어 CT 검사 시행 시에 준수해야 할 피폭 저감화 방안에 대해서 체계적이고 종합적으로 기술한 논문이다. CT검사는 검사가 꼭 필요한 경우 촬영할 수 있는 정당화 확보를 위한 방법과 정당화 확보 후 진단 능력을 훼손하지 않는 방법에서 최소한의 방사선량으로 검사를 해야 하는 원칙을 실행하기 위하여 장비단위에서부터 각 의료기관, 전문가 단체, 국가가 해야 할 일에 대해서 현재 국내 외 현황과 나아갈 방향에 대해 정리하였고 실질적인 실행 방안을 체계적으로 기술하였다. 환자의 진단과 치료에 꼭 필요한 CT검사를 적절하게 사용하기 위해 리뷰 논문은 기본적인 가이드가 될 것이다.

[정리: 편집위원회]