

소아 두부 전산화단층촬영 선량지표 분석을 통한 피폭선량 모니터링: 일개병원 사례 중심으로

Analyzed the Computed Tomography Dose Index (CTDI) to the Pediatric Brain CT
by Reason of the Observation for the Exposure Dose: Base on a Hospital

이재승*, 김현진**, 임인철*

동의대학교 방사선학과*, 동의대학교 대학원 보건외과학과**

Jae-Seung Lee(jslee111@deu.ac.kr)*, Hyun-Jin Kim(ssini98@naver.com)**,
In-Chul Im(icim@deu.ac.kr)*

요약

본 연구는 일개병원에서 시행된 연간 소아 두부 CT 검사에 대한 CT 선량지표(CTDI)를 국내 진단참고준위와 비교하여 분석함으로써 제안점을 도출하고 피폭 방사선량 저감화 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 2014년 1월부터 12월까지 두부 손상으로 소아 두부 CT 검사를 의뢰 받은 10세 미만의 소아 231명을 후향적으로 조사하였다. 조사 방법은 선량 보고서와 의료전자차트를 참조하여 일반적 특성, 관전압(kVp), 관전류(mA), 검사 범위, CTDI_{vol}, DLP를 조사하여 분석하였다. 결과적으로 CTDI_{vol}은 전체 연구대상자의 7.4%(17명)가 국내 진단참고준위를 초과한 것으로 나타났으며 DLP의 경우 41.6%(96명)가 초과되어 CTDI_{vol} 보다 비교적 높게 나타났다. DLP는 한국식품의약품안전처에서 제시한 CT 선량 지표보다 대부분 약 60% 이상 초과되었으며 건강보험심사평가원에서 제시한 기준 검사 범위보다 약 30%이상 증가된 검사 범위가 DLP가 높게 나타난 원인으로 분석되었다. 결론적으로 임상에서 CT 검사 시 건강보험심사평가원에서 제시하는 소아 두부 CT 검사의 기준 검사 범위를 준수하여 검사하고 프로토콜을 적절히 조절한다면 피폭선량을 상당히 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

■ 중심어 : | CT 선량지표 | 진단참고준위 | 선량보고서 | 의료전자차트 | 선량길이 곱 |

Abstract

The purpose of this study was to derive the proposals and to suggest the exposure dose reduction scheme on pediatric head CT scan by analyzing and comparing CT dose index (CTDI) and the national diagnostic reference levels. From January 2014 to December, 231 children under 10years who were requested a pediatric head CT scan with head injury were examined. Research methods were to research and analyze the general characteristics kVp, mA test coverage CTDI_{vol} and DLP referring to dose reports and electronic medical record (EMR). As a result, 7.4%(17 patients) of the total subjects in CTDI_{vol} showed a national diagnostic reference levels exceeding. For DLP 41.6%(96 patients) in excess was relatively higher than CTDI_{vol}. DLP was exceeded more than about 60% that is higher than the CT dose index presented by Korea Food & Drug Administration. it is cause of high DLP that scan range increased more than about 30% wider than the standard test coverage presented in Health Insurance Review & Assessment Service. In conclusion, it is able to significantly lower the dose if it is complied with checking the baseline scan range of pediatric head CT scan and appropriately adjusting the protocol.

■ keyword : | Computed Tomography Dose Index | Diagnostic Reference Level | Dose Report | Electronic Medical Record | Dose Length Product |

I. 서론

소아는 성장하는 과정에서 다양한 원인으로 선천적 또는 후천적 두부(brain) 손상을 동반할 수 있으며 정확한 질환 감별 및 적절한 치료를 위하여 선택적으로 전산화단층촬영(computed tomography, 이하 CT)를 시행하고 있다[1][2]. CT는 우수한 공간 분해능(spatial resolution) 및 대조도 분해능(contrast resolution)으로 양질의 해부학적 정보를 제공함으로써 미세한 병변의 감별이 용이하다는 이점이 있는 반면 단일 에너지의 좁은 X선 속이 나선형으로 회전하면서 넓은 범위를 노출시키기 때문에 다른 영상의학적 검사(radiology)와 비교하여 환자의 피폭 방사선량 및 방사선 생물학적 위험성이 상대적으로 높다[3][4]. 특히 소아의 경우 방사선 감수성이 성인과 비교하여 약 10배 정도 높고 CT 검사 후 남은 생애가 길어 방사선에 의한 위험률이 상대적으로 증가될 수 있다[5]. 또한 2000년 이후 입상의 모든 다중검출기 전산화단층촬영(multi detector computed tomography, MDCT)장치가 보편화 되면서 CT 선량지표(volume CT dose index, CTDIvol), 선량길이 곱(dose length product, DLP)과 유효선량평가 결과를 기록, 보관하고 있으며 이러한 정보들은 환자들의 방사선 노출 및 위험도를 평가하는 데 필수적이다[6]. 이와 관련하여 Brenner 등[7][8]의 연구에 따르면 1세 전·후에 검사 받은 두부 CT 검사에 기인된 생애 암 사망률 위험도는 0.07%로 추정된다고 보고하였으며 미국 내 발생한 전체 암 발생률의 약 1.5% 내지 2.0%는 CT 검사에 기인된 방사선 피폭이 그 원인이 될 수 있다고 보고하였다. 방사선의 의학적 검사에 의한 생물학적 위험성을 최소화하기 위하여 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)는 신 권고안 ICRP publication No. 103에 따라 2008년부터 의료 피폭에 대한 위험 제약치(dose and risk constraint) 또는 참고 준위(reference level)를 두어 방어의 최적화를 강조하고 있다[9]. 국내의 경우 한국식품의약품안전처(Korea Food & Drug Administration, KFDA)를 중심으로 2006년부터 환자의 선량 권고량 기준 마련을 위한 가이드라인을 발간하여 진단참고준위(diagnostic reference level, DRL)를 권고하고 있으며

2012년부터 소아의 영상의학적 검사에 대한 환자 선량 권고량 가이드라인을 제시하고 있으며 전국 103대의 CT 장치를 대상으로 소아 두부 CT 검사에 대한 환자 선량 권고 기준을 마련하였다. 국외의 경우 미국방사선 의학회에서는 환자의 이익을 위해서는 CT 촬영을 시행하여야 하나, 어린이나 건강 검진 목적의 CT 검사는 그 이해득실을 먼저 고려해 보아야 하며, 전문가의 관리에 의한 프로토콜 관리에 의한 피폭선량 저감화를 강조하고 있다. 또한 유럽 등에서는 CT 검사의 권고기준을 발표하고 있으며, 점차 CT 검사에 의한 피폭선량을 추적 관리하고자 하는 주장이 시작되고 있다[10][11]. 그러나 소아 두부 CT 검사에서 환자의 선량 권고량이 마련되었음에도 불구하고 지속적 성장과 발달 과정이 이루어지는 소아 두부의 해부·생리학적 특성상 두강 내 조직이 균일하고 작기 때문에 영상의 대조도가 저하되며 임상적으로 영상의 질적 향상을 위하여 검사 노출 조건을 증가시키려는 경향이 일부 있을 수 있다. 따라서 임상적으로 소아 두부 CT 검사에서 최소한 낮은 피폭선량을 유지하고 진단에 필요한 영상 정보를 획득하고 한국 식품의약품안전처에서 권고한 환자의 선량 권고량을 준수하기 위한 노력이 반드시 필요하다. 이를 위하여 본 연구는 일개병원에서 시행된 연간 소아 두부 CT 검사에 대한 CT 선량지표(computed tomography dose index, CTDI)를 국내 진단참고준위(DRL)와 비교하여 분석함으로써 제안점을 도출하고 피폭 방사선량 저감화 방안을 제시하고자 하였다.

II. 실험 및 방법

1. 연구 대상 및 실험 장비

본 연구의 대상은 2014년 1월 1일부터 12월 31일까지 선천적 또는 후천적 두부 손상으로 부산지역 일개 대학교 병원에 내원하여 소아 두부 CT 검사(routine brain CT)를 의뢰 받은 10세 미만의 소아환자 231명을 후향적으로 조사하였다. 본 연구에 사용된 CT 장치는 고 해상도의 영상 획득 및 저 선량 촬영 기술이 가능한 128 채널 다중검출기 CT 장치(Discovery CT 750 HD, GE Healthcare, USA)를 이용하였으며 소아 두부 CT 스캔

파라미터는 [Table 1]에 제시하였다.

Table 1. Pediatric brain CT scan parameters in this study

Parameters	Conditions
Tube voltage (kVp)	100 to 120
Tube current time (mAs)	98 to 210
Scan type	Helical
Slice thickness (mm)	5.0
Pitch (mm)	0.8
Rotation time (sec)	0.7

2. 연구방법

본 연구는 CT 워크스테이션(상품명, GE Healthcare, USA)에 저장된 선량 보고서(dose report)와 의료전자 차트(electronic medical record, EMR)를 참조하여 환자의 일반적 특성(성별, 연령, 몸무게 등), 관전압(kVp), 관전류(mA), 검사 범위(scan range), 그리고 CT 선량 지표인 CTDI_{vol}, DLP(dose length product)를 조사하였다[Fig. 1]. 본 연구에 사용된 CT 선량지표들은 직접적인 환자 선량으로 평가할 수 없으나 표준 모의 피폭체(팬텀)를 이용한 선량 측정량과 관계되기 때문에 CT에 대한 상대적 성능을 결정뿐만 아니라 진단참고준위 설정에 사용될 수 있다[12-14]. 조사된 자료는 [Table 2]와 같이 한국식품의약품안전처에서 제시한 “어린이 CT 영상의학 검사의 환자 선량 권고량 가이드라인”을 참조하여 연령에 따른 CT 선량지표(CTDI_{vol}과 DLP)와 비교하였으며 국내 진단참고준위를 초과한 데이터를 분석하여 문제점을 파악하고 피폭 방사선량을 저감화할 수 있는 방안을 도출하였다.

Patient Name: Exam No: 13724
 Accession Number: 1400772571 2014 Oct 27
 Patient ID: Discovery CT750 HD
 Exam Description: Routine Brain CT (Non CE)

Dose Report					
Series	Type	Scan Range (mm)	CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom (cm)
1	Scout	-	-	-	-
2	Helical	156.250-111.250	17.20	288.48	Head 16
Total Exam DLP:				288.48	

1/1

Fig. 1. Shows the dose report by using the CT dose index for the annually pediatric brain CT.

Table 2. Standard diagnostic reference level (DRL) for the pediatric brain CT recommended by the Korea Food & Drug Administration (KFDA)

Age (year)	Exposure condition		CT dose index	
	Tube voltage (kVp)	Tube current (mA)	CTDI _{vol} ² (mGy)	DLP ³ (mGy-cm)
Neonate ¹	100	CTDI _{vol} consideration the conditions	16	210
1 month - 1	100	CTDI _{vol} consideration the conditions	20	260
2 - 5	120	CTDI _{vol} consideration the conditions	28	370
6 - 10	120	CTDI _{vol} consideration the conditions	36	500

¹,Infants of less than one month.

²,This dose information is based on a measurement of the CT dose index, which is the current standard for CT dosimetry and performance.

³,The dose length product is the product of the CTDI_{vol} and the scan length for a group of scans. This number can be summed over the entire exam to give an estimate of the total dose.

III. 연구결과

1. CT 선량지표에 대한 분석 결과

[Table 3]은 소아 두부 CT 검사에서 CT 선량 지표에 대한 한국식품의약품안전처에서 제시한 기준 진단참고준위와 임상 적용 결과를 보여준다. 소아 두부 CT 검사에서 연령에 따라 적용된 관전압은 한국식품의약품안전처에서 제시한 기준 관전압과 비교하여 동일하거나 약간 높게 적용되고 있었다. 그러나 한국식품의약품안전처에서 제시한 진단참고준위와 임상적으로 적용된 CT 선량지표를 비교한 결과 CTDI_{vol}은 전체 연구 대상자 231명 중 7.4%(17명)가 국내 진단참고준위를 초과한 것으로 나타났으며 DLP의 경우 41.6%(96명)가 초과되어 CTDI_{vol} 보다 비교적 높게 나타났다.

[Table 4]는 한국식품의약품안전처에서 제시한 진단참고준위를 초과한 환자에 대한 연령별 초과 비율 분포를 보여준다. 연령에 따라서 기준 CT 선량 지표(CTDI_{vol}, DLP)와 비교하여 10% 이상 초과한 비율을 분석한 결과 CTDI_{vol}는 1세 미만의 경우 12명 중 4명

(33.3%), 6-10세의 경우 5명 중 4명(80%)이 기준 CT 선량지표(CTDI_{vol})보다 초과되었다.

또한 DLP는 1세 미만의 경우 20명 중 17명(85%), 2-5세의 경우 62명 중 45명(72.6%), 6-10세의 경우 14명 중 12명(85.7%)이 기준 CT 선량지표(DLP)보다 초과된 것으로 분석되었다. 특히 연령에 따른 기준 CT 선량지표와 비교하여 10%에서 30%까지 초과한 비율은 CTDI_{vol}의 경우 극소수에 불과하였으나 DLP의 경우 기준 CT 선량지표를 초과한 환자의 약 60% 이상을 차지하고 있어 임상적으로 심각하게 고려되어야 할 것으로 분석되었다.

Table 3. Comparison results for the standard diagnostic reference level (DRL) presented by the Korea Food & Drug Administration (KFDA) and applied clinical CT dose index.

Age (year)	Subjects (n)	Ratio exceed the CT dose index	
		CTDI _{vol} n(%)	DLP n(%)
1 month - 1	73	12(16.4)	20(27.4)
2 - 5	96	0(0.0)	62(64.6)
6 - 10	62	5(8.1)	14(22.6)
Total	231	17(7.4)	96(41.6)

Table 4. Excess rate of the distribution for the patient in excess of the standard diagnostic reference level (DRL) according to the age.

Excess rate	Age (year)	CTDI _{vol} n(%)			DLP n(%)		
		1	2-5	6-10	1	2-5	6-10
Less than 5%	5(41.7)	-	-	-	-	-	-
6-10%	3(25.0)	-	1(20.0)	3(15.0)	17(27.4)	2(14.3)	
11-20%	4(33.3)	-	3(60.0)	6(30.0)	21(33.9)	6(42.9)	
21-30%	-	-	1(20.0)	7(35.0)	13(21.0)	5(35.7)	
31-40%	-	-	-	2(10.0)	7(11.3)	1(7.1)	
More than 40%	-	-	-	2(10.0)	4(6.4)	-	
Total(n)		12	0	5	20	62	14

2. 원인 분석

[Table 5]는 소아 두부 CT에 대한 한국식품의약품안전처에서 제시한 CT 선량지표를 초과하지 않은 환자와 초과한 환자의 평균 CTDI_{vol}와 DLP를 보여준다. 국내

진단참고준위 범위 내 CT 선량지표는 CTDI_{vol}의 경우 약 6.5%에서 9.6%, DLP의 경우 3.9%에서 7.3% 정도 기준값보다 감소되었으며 소아 두부 CT에 적용된 관전압 또는 관전류에 대한 노출 조건이 최적화된 것으로 분석되었다. 그러나 국내 진단참고준위 범위를 초과한 그룹에서 CTDI_{vol}는 최대 9.5%의 증가를 보이는 반면 DLP는 17.7%에서 24.3%까지 급격하게 증가되는 것으로 분석되었다. 이러한 결과 분석을 토대로 소아 두부 CT에 적용된 노출 조건(관전압과 관전류)이 최적화되었다고 가정할 때 CTDI_{vol}와 검사 범위(scan range)로 정의되는 DLP의 급격한 증가는 검사 범위에 기인되었다고 분석할 수 있었다.

따라서 본 연구는 건강보험심사평가원(Health Insurance Review & Assessment Service)에서 제시한 소아 두부 CT 검사에 대한 검사 범위인 C1 상부(1st C-spine upper border)에서 두개관 천부(calvarium top)를 기준으로 하여 DLP의 급격한 증가 원인을 분석하였다[Fig. 2][15]. 본 연구 대상자의 연령에 따른 전체 검사 범위는 1세 미만, 2-5세, 6-10세의 경우 각각 141.9±13.3mm, 160.6±9.8mm, 175.4±19.0mm 이었다. 한국식품의약품안전처에서 제시한 CT 선량지표(DLP)를 초과하지 않은 그룹의 검사 범위는 연구 대상자의 전체 검사 범위와 비교하여 1세 미만, 2-5세, 6-10세의 경우 각각 10.9%, 4.7%, 8.0% 감소된 반면 초과한 그룹은 각각 4.0%, 1.1%, 4.4% 증가된 것으로 분석되었다[Table 6]. 연구 대상자의 전체 검사 범위에서 건강보험심사평가원에서 제시한 기준 검사 범위(C1 upper border에서 calvarium top까지)만을 포함하는 영상으로 재구성한 결과는 [Table 7]에 제시하였다. 건강보험심사평가원에서 제시한 소아 두부 CT 검사의 기준 검사 범위와 비교하여 임상적으로 적용된 검사 범위는 약 30% 정도가 필요 이상으로 검사되어 검사 범위의 증가에 기인되어 DLP가 급증된 것으로 분석되었다. 또한 한국식품의약품안전처에서 제시한 CT 선량지표(DLP)를 초과하지 않은 그룹의 검사 범위는 약 16.6%에서 24.4% 정도 추가 검사 범위를 시행한 반면 초과한 그룹의 검사 범위는 31.9%에서 40.7%까지 불필요한 추가 검사 범위가 시행된 것으로 분석되었다.

Table 5. Analysis results for the average CT dose index presented by the Korea Food & Drug Administration (KFDA)

Age (year)	Within		Excess	
	CT dose index		CT dose index	
	CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy·cm)	CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy·cm)
1 month - 1 rate*	18.7 -6.5%	242.6 -6.7%	21.9 9.5%	323.3 24.3%
2 - 5 rate	25.3 -9.6%	342.9 -7.3%	0 0%	457.5 23.6%
6 - 10 rate	33.1 -8.1%	480.5 -3.9%	38.6 7.5%	588.5 17.7%

*.Was divided by the clinical applied values to the CT dose index presented by KFDA. "-" means a decrease, and "+" means to increase.

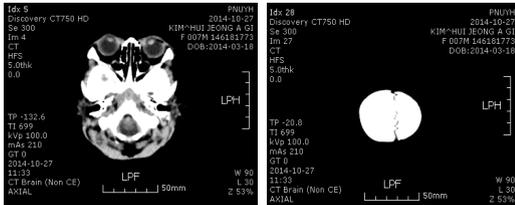


Fig. 2. Shows the reference scan range of pediatric brain CT presented by the Health Insurance Review & Assessment Service.

Table 6. Analysis results for the average scan ranges of the entire group, and the within and excess CT dose index groups

Age (year)	Scan ranges (mm)		
	Entire group	Within	
		CT dose index group	CT dose index group
1 month - 1	141.9±13.3	126.5±8.4	147.6±9.7
2 - 5	160.6±9.8	153.1±7.3	162.4±9.5
6 - 10	175.4±19.0	161.4±8.5	183.1±18.9

Table 7. Comparison results for the scan range

Age (year)	Reconstructed scan range (mm)	rate		
		Entire group	Within	Excess
			CT dose index group	CT dose index group
1 month-1	108.5±10.1	30.8	16.6	36.0
2 - 5	123.1±8.0	30.5	24.4	31.9
6 - 10	130.1±13.8	34.8	24.1	40.7

*.Were divided by the entire group, the within and excess CT dose index groups to the reconstructed scan range presented by Health Insurance Review & Assessment Service.

IV. 고찰

소아는 어른에 비해 방사선에 대한 감수성이 예민하며 피폭에 따른 영향이 크고, 오랜 기간 동안 지속되므로 보다 적극적이고, 지속적인 환자선량 감소 노력이 필요하다. 또한 환자의 몸 크기가 비교적 일정한 성인과는 달리, 소아는 신생아에서 청소년에 이르기까지 다양한 몸의 크기를 갖고 있기 때문에 소아에서 일반 성인의 검사 프로토콜을 사용하여서는 안 되며 검사 시 소아의 특성과 크기에 맞추어 방사선 조사량을 적절히 조절하여야 하며 이를 위하여 소아검사 프로토콜의 숙지가 필요하다. 진단영상의학검사는 손해보다는 이득이 많다는 정당성이 확보되어 환자가 받는 방사선의 선량한도를 정하고 있지 않으나 환자선량 평가와 아울러 선량감소를 위한 저감화 대책이 시급하다[16]. 대개 다중채널 CT에서는 검사 범위를 정할 때 예상피폭선량 기기에 표시가 된다. 이 때 적절히 관전류값을 조절함으로써 적절한 피폭선량을 얻을 수 있다. 그러나 의료기관에서는 각 병원의 기기의 특성에 맞도록 관전류와 관전압을 조절할 수 있지만 환자상태나 긴급상황에 의해 잘 이루어지지 않고 있다. 하지만 관전압과 관전류에서는 적정수준의 범위를 사용하는 것으로 나타났으나 검사 범위를 넓게 사용함으로써 CTDI_{vol}이나 DLP가 높게 나타나는 것으로 확인되었다. 본 논문의 실험결과 [Table 7]에서 알 수 있듯이 건강보험심사평가원에서 제시한 소아 두부 CT 검사의 기준 검사 범위와 비교하여 임상적으로 적용된 검사 범위는 약 30% 정도가 필요 이상으로 검사되어 검사 범위의 증가에 기인되어 DLP가 급증된 것으로 분석되었다. 따라서 실제 임상에서는 불필요한 검사 범위에 의한 CTDI_{vol}, DLP값이 많이 증가한다는 사실을 알 수 있었으며 검사 범위(scan range)조절로 인해 CTDI_{vol}과 DLP를 저감화시킬 수 있도록 해야 할 것이다. 이에 검사를 시행하는 CT 방사선사는 건강보험심사평가원에서 제시하는 두부 CT 검사 범위인 C1 상부에서 두 개관(calvarium)의 top까지를 포함한 영상까지의 검사 범위를 엄격히 준수해야 할 것으로 판단되며 식품의약품안전처에서 연령별로 제시하는 어린이 두부 CT에서의 표준촬영 프로토콜을 기준

을 고려한다면 최소한의 방사선량으로 진단에 필요한 정보를 얻어 최적화된 영상과 최소한의 방사선피폭으로 검사가 시행될 것으로 판단된다. 제한점으로서는 일개 대학병원으로 국한되어 조사한 결과로 앞으로 지역 또는 전국을 대상으로 조사하여 분석한 결과를 토대로 소아 두부 CT검사에 의한 검사 범위와 그에 의한 방사선피폭에 대한 조사가 이루어져야 할 것이며 또한 병명에 따른 진단적 가치에 의한 검사 범위에 대한 조사가 배제되었다는 점을 말할 수 있다. 또한 본 논문의 의구심을 가지고 있을 수 있는 점으로는 스캔방식의 차이라 할 수 있겠다. 현재 임상에서는 소아환자인 경우 움직임 때문에 진정제를 주사한 후 검사시간을 단축하기 위함과 얻고자 하는 영상으로 축상면(axial image)는 물론 관상면(coronal image), 시상면(sagittal image)을 동시에 얻고자 나선형(helical) 스캔으로 검사하는 경우가 늘고 있는 실정이다. 그에 따라 축방향(axial) 스캔보다는 피폭이 더 증가한다고 볼 수 있겠지만 검사조건은 axial 스캔에서 주는 검사조건으로 시행하고 있기 때문에 관전압이나 검사조건에 따른 진단참고준위 범위를 벗어나는 경우는 아주 소수에 불과하였다. 그러나 과도한 스캔범위로 인해 많은 환자들에 있어서 DLP값이 초과되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 스캔방식 문제보다는 스캔범위의 증가로 인한 피폭선량의 증가라고 생각할 수 있을 것이다.

따라서 각 의료기관에서는 소아 전용 프로토콜을 정립하고 환자의 상황에 맞도록 사용함으로써 환자에 대한 방사선 피폭을 최대한 줄일 수 있도록 노력해야 할 것으로 사료된다.

V. 결론

결과에서 분석한 바와 같이 전반적으로 소아 두부 CT 검사를 시행할 때 노출 조건인 관전압과 관전류에서는 적정수준의 범위를 사용하는 것으로 나타났으며 검사 범위로는 필요 이상으로 넓게 포함하여 검사하고 있다는 사실을 알 수 있었다. 그로 인해 CTDI_{vol}이나 DLP가 높게 나타나는 것으로 확인되었다. 따라서 임상에서 CT 검사 시 건강보험심사평가원에서 제시하는 소

아 두부 CT 검사의 기준 검사 범위를 준수하여 검사하고 프로토콜을 적절히 조절한다면 피폭선량을 상당히 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] J. Sherck, C. Shatney, K. Sensaki, and V. Selivanov, "The accuracy of computed tomography in the diagnosis of blunt small-bowel perforation," *The American journal of surgery*, Vol.168, No.6, pp.670-675, 1994.
- [2] Neil. Bhattacharyya and Marvin P. Fried, "The accuracy of computed tomography in the diagnosis of chronic rhinosinusitis," *The Laryngoscope*, Vol.113, No.1, pp.125-129, 2003.
- [3] D. J. Brenner and E. J. Hall, "Computed tomography - an increasing source of radiation exposure," *N Engl J Med*, Vol.357, No.22, pp.2277-2284, 2007.
- [4] E. Dougeni, K. Faulkner, and G. Panayiotakis, "A review of patient dose and optimisation methods in adult and pediatric CT scanning," *Eur J Radiol*, Vol.81, No.44, pp.e665-683, 2011.
- [5] D. H. Yang and H. W. Goo, "Pediatric 16-slice CT protocol: radiation dose and image quality," *J. Korean Radiol. Soc.*, Vol.59, No.1, pp.333-347, 2008.
- [6] 이정근, 장성주, 장영일, "소아 CT 촬영 시 방사선 피폭과 저감화 방법", *한국콘텐츠학회논문지* Vol.14, No.1, pp.356-363, 2014.
- [7] D. H. Yang and H. W. Goo, "Pediatric 16-slice CT protocol: radiation dose and image quality," *J. Korean Radiol. Soc.*, Vol.59, pp.289-296, 2001.
- [8] D. J. Brenner and E. J. Hall, "Computed tomography: an increasing source of radiation exposure," *N Engl. J. Med.*, Vol.357, pp.2277-2284, 2007.

- [9] ICRP, "2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection," ICRP publication No.103, 2007.
- [10] 한국식품의약품안전처, "일반 영상의학검사의 환자선량권고량 가이드라인", 방사선안전관리 시리즈, No.30, 2012.
- [11] 한국식품의약품안전처, "어린이 CT 영상의학검사의 환자선량권고량 가이드라인", 방사선안전관리 시리즈, No.31, 2012.
- [12] ICRP, "Managing patient dose in computed tomography," ICRP publication, No.87, 2000.
- [13] IEC, "Evaluation and routine testing in medical imaging departments, part 2-6: constancy tests X-ray equipment for computed tomography," International Electrotechnical Commission (Geneva, Switzerland), IEC 1223-2-6, 1994.
- [14] S. Edyvean, "Type testing of CT scanners: methods and methodology for assessing imaging performance and dosimetry," Medical Devices Agency (London, UK), Report No.mA/98/25, 1998.
- [15] Health Insurance Review & Assessment Service, "CT Examination and Repeat CT Examination Guidelines," p.39, 2014.
- [16] UNSCEAR 2000 Report Vol.1. "Sources and Effects of Ionization Radiation," Annex D Medical radiation exposure, UNSCER, 2000.

김 현 진(Hyun-Jin Kim)

정회원



- 2015년 2월 : 동의대학교 보건위
과학과(박사수료)
- 2001년 ~ 현재 : 좋은삼선병원
영상의학과

<관심분야> : 의료영상정보학, 방사선계측

임 인 철(In-Chul Im)

정회원



- 2006년 12월 : 고신대학교 보건
과학과(보건학박사)
- 2011년 ~ 현재 : 동의대학교 방
사선학과 교수

<관심분야> : 방사선영상학, 방사선발생장치 정도관
리, 의료보건

저 자 소 개

이 재 승(Jae-Seung Lee)

정회원



- 2012년 2월 : 순천향대학교 물리
학과(이학박사)
- 2012년 ~ 현재 : 동의대학교 방
사선학과 교수

<관심분야> : 방사선물리학, 방사선관리학