

Contrast Optimization using of Weight-based Injection Protocol in Pediatric Abdomen CT Examination

Yung-Kyoon Kim^{1,2}, Dong-Kyoon Han^{2,*}

¹Department of Radiology, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

²Department of Radiologic Technology, Eulji University, Seongnam, Korea

Received: September 27, 2021. Revised: October 20, 2021. Accepted: October 31, 2021.

ABSTRACT

The aim of this study was to achieve optimal portal phase while reducing contrast medium by applying weight-based dose protocol compared to standard fixed dose protocol to performing of pediatric abdominal CT examination. Discovery 750HD (General Electric Medical Systems, Milwaukee, USA) was used, and a total of 167 children consisting of 85 men and 82 women under the age of 18 were studied. The group in which the 300 mgI/ml(Xenetix, Guerbet, France) contrast medium was fixedly injected at twice body weight and the group injected with physiological saline while gradually decreasing the injection amount by 10% while applying the weight-based protocol were distinguished. Also, the CT number and SNR of abdominal organs were compared and evaluated while changing the scan delay time. Subjective image quality of enhancement and beam-hardening artifacts of around the heart was assessed with five-point criterion. The group adapted weight-based protocol with 20% reduction in contrast medium was most similar in contrast enhancement in the group with fixed injection at twice body weight. Furthermore, the group with a delay time of 20% had the highest contrast enhancement effect, and the difference in CT attenuation coefficient from the group scanned immediately after injection of the contrast media. Therefore, the appropriate delay time after injection of the contrast agent increased the contrast enhancement of the parenchymal organ. In addition, the weight-based injection protocol with normal saline reduced artifacts around the heart, and the effect of contrast enhancement could be maintained. In conclusion, it is possible to reduce dosage of contrast media through the application of weight-based injection protocols and appropriate latency, and to characterize optimal portal phase imaging on pediatric abdominal CT.

Keywords: Pediatric Abdominal CT, Iodine Enhancement, Weight Adapted Injection Protocol, Scan Delay Time

I. INTRODUCTION

전산화단층촬영(CT) 검사는 비침습적이고 빠른 진단적 효율성으로 인하여 소아의 복부 영상의학 분야에서 일상적으로 적용되어 왔다. 다중검출기 전산화단층촬영(MDCT) 기법은 진단 정확도가 획기적으로 향상되어 초점 간 병변에 대한 검출률이 최대 95%에 달하고^[1], 염증성 췌장 질환과 관련된 합병증과 양성 대 악성 췌장 종양을 감지하고 특징 짓기 위해 수행된다^[2]. 특히 정맥 내 조영제의 투여

는 소아환자의 복부와 골반 내 악성종양의 감별과, 병기의 결정 및 추적검사, 또한 급성 외상 후 장기의 손상 등 복부 질환이 의심되는 경우 필수적이다^[3,4].

일반적으로 소아 복부의 조영 증강기는 문맥기가 사용되는데, 혈관과 내장 실질 모두에서 적절히 조영 증강이 됨으로써 주요 장기인 간, 췌장, 대장 등 복부 장기 전체의 평가에 가장 일반적으로 사용되는 증강기이다. 그리고 통상적인 복부 CT는 신장과 골반 정맥계도 최적화된 상태에서 검사해야 한다. 이때 환자의 정맥 혈관의 상태와 위치, 도관의

* Corresponding Author: Dong-Kyoon Han E-mail: handk@eulji.ac.kr
Address: .Department of Radiologic Technology, Eulji University, Seongnam, Korea

Tel:

확보 그리고 몸무게 등, 다양한 요인이 조영 증강기에 영상을 미친다¹⁵⁻¹⁸. 특히 정맥 내 투여되는 조영제의 주입량과 주입 속도 그리고 스캔 지연시간 등은 검사과정에서 반영해야 하는 중요한 핵심 요인이다^{19,10}. 또한 소아환자의 빈약한 혈관은 조영제의 급속한 주입에 의한 혈관 부상 및 주입 부위의 합병증 발생 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 최적의 문맥기 영상 획득을 위하여 CT 종사자는 소아환자의 생리학적 특성을 반영하여 조영제 주입 조건을 세밀하게 설정하여야 한다.

최근 MDCT의 기술발전이 힘입어 혈관조영 CT 및 심장 CT와 같은 전문 소아과 검사의 대조도 향상 기법이 다양하게 활용되고 있고, 체중 및 크기에 기반한 소아 프로토콜에 대한 새로운 접근이 있어 왔다¹¹⁻¹⁴. 하지만 대부분 특정 장거나 단일 조영기에 국한한 실험적인 논문이며, 이전 연구에서는 영상 노이즈가 높고 심각한 인공물로 인해 지연된 강화 CT 검사의 3-20%는 평가할 수 없는 것으로 간주되었다¹⁵. 따라서 고품질의 간 문맥기 영상을 획득하기 위한 효율적인 조영제 주입 가이드라인은 매우 필요한 실정이다.

이에 본 논문의 목적은 소아 환자의 체중의 변화에 따른 조영제 주입량과 주입 속도 및 스캔 지연시간을 자동으로 계산할 수 있는 주입 프로토콜을 개발하여 복부 CT검사에 적용함으로써, 조영제 주입량을 최소화시키면서 최적의 문맥기 영상을 획득할 수 있는지 알아보고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 연구대상

CT 장비는 Discovery 750HD(General Electric medical systems, Milwaukee, USA) 64 slice MDCT 장치를 이용하였으며, 2019년 1월 1일부터 2020년 7월 31일까지 복부 CT 검사를 시행한 만 18세 미만의 소아 남자 85명과 여자 82명, 총 167명을 대상으로 데이터를 수집하였다. 검사 조건은 다음 Table 1과 같다.

관전압은 환자의 몸무게에 따라서 20 kg 미만은 80 kVp, 20 kg 이상은 100 kVp를 적용하였으며, 빔콜리메이션은 40 mm로 설정하여 나선형으로 스캔

하였다. 영상의 획득은 5.0 mm 절편 두께, Standard 알고리즘을 사용하였으며, 통계적 반복재구성기법 (Adapted statistical iterative reconstruction) 50%를 적용하였다.

Table 1. The Parameter of CT Examination according to Patient Weight

Weight (kg)	Tube voltage (kVp)	Scan FOV	Tube current (mAs)	AEC
1 ~ 20	80	Small Body	30 ~ 250	On
20 ~ 65	100	Medium Body		

AEC: Auto exposure control, FOV: Field of view

2. 연구방법

2.1 요오드 조영제 주입량의 변화

비이온성 혈관 조영제 300 mgI/ml(Xenetix, Guerbet, France)를 37°로 가온하여 팔의 정주와 정맥내 주입하였다. 이때 CT 검사자의 효율적인 조영제 주입을 위하여, 환자의 몸무게의 변화를 반영한 투여량과 주입 속도 및 검사 지연시간을 자동으로 계산할 수 있는 엑셀 프로토콜을 적용함으로써 일관적으로 주입하였다. 소아 복부 CT 검사의 조영제 주입 시간은 30 sec 이내가 되도록 주입속도를 최소 0.5 ml/sec에서 최대 2.0 ml/sec까지 조절하였다.

$$\begin{aligned} \text{Injection flow rate (ml/sec)} \\ = \text{Patient weight (kg)} \times 0.057 \text{ (ml/sec/kg)} \end{aligned} \quad (1)$$

대조군 A그룹의 조영제의 총 주입량은 몸무게의 2배를 적용하였으며, 실험군 B1, B2, B3, 그룹은 조영제 주입량을 10%씩 감소시키면서 생리식염수를 최소 10 ml에서 최대 20 ml를 추가로 주입하였다. 이때 균등한 주입 속도를 유지하기 위하여 자동 주입기를 사용하였으며, 조영제와 생리식염수 주입 후 지체 없이 스캔하였다.

조영제 주입 프로토콜에 따른 환자의 분류는 Table 2와 같다.

2.2 스캔 지연 시간의 변화

조영제 주입 프로토콜을 적용한 그룹의 스캔 지연 시간의 변화 따른 문맥기의 화질의 조영 증강 변화를 평가하기 위하여 Table 3과 같이 총 4 그룹

으로 구분하여 영상을 획득하였다.

조영제와 생리식염수의 주입 속도는 Eq. (1)을 사용하였고, 정맥내 총 투여량은 환자의 몸무게를 반영하여 쉽게 계산할 수 있는 공식을 사용하였다.

$$\text{Contrast medium load(ml)} = (\text{Body weight (Kg)} \times 2.0) \times 0.8 \quad (2)$$

생리식염수는 조영제 투여 직후 주입하였으며 최소 10 ml에서 최대 20 ml를 조절하면서 투여하였

다. 생리식염수의 주입량 계산식은 Eq. (3)과 같다.

$$\text{Normal saline load(ml)} = (\text{Body Weight(Kg)} \times 2.0) \times 0.2 \quad (3)$$

조영제와 생리식염수의 총 주입량 계산식은 Eq. (4)와 같다.

$$\text{Total volume(ml)} = \text{Contrast medium load(ml)} + \text{Normal saline load(ml)} \quad (4)$$

Table 2. Classification of Pediatric Patients according to Contrast Medium Volume

Study group	Number	Age (min / max)	Weight (Kg)	Contrast medium (ml)	Normal saline (ml)
A	30	5.00 ± 3.22 (1/13)	17.73 ± 6.11	(Weight × 2.0) × 1.0	-
B1	23	3.61 ± 2.81 (1/13)	14.57 ± 5.65	(Weight × 2.0) × 0.9	10 ~ 20
B2	23	3.57 ± 3.06 (1/10)	14.30 ± 7.16	(Weight × 2.0) × 0.8	10 ~ 20
B3	23	4.70 ± 2.60 (1/10)	17.10 ± 5.93	(Weight × 2.0) × 0.7	10 ~ 20

Table 3. Classification of Pediatric Patients according to Delay Time of CT Scanning

Study group	Number	Age (min / max)	Weight (Kg)	Delay time (sec)
C1	23	3.57 ± 3.06 (1/10)	14.30 ± 7.16	(TV / IT) × 1.0
C2	22	4.64 ± 2.97 (1/13)	18.16 ± 6.40	(TV / IT) × 1.1
C3	23	4.83 ± 3.60 (1/13)	16.82 ± 5.65	(TV / IT) × 1.2
C4	22	4.77 ± 2.84 (1/10)	16.38 ± 4.92	(TV / IT) × 1.3

TV : Total Volume, IT : Injection Time

3. 복부의 화질 평가

3.1 정량적 평가

횡단면 영상에서 하행 대동맥, 간문맥, 하대정맥과 간 실질, 췌장, 비장, 신장의 CT 감쇄계수 (Hounsfield unit)와 잡음을 측정하여 신호대 잡음비 (Signal noise ratio)를 계산하였다.

$$\text{SNR} = \frac{\text{Target CT number (HU)}}{\text{Target Noise (HU)}} \quad (5)$$

화질 측정을 위한 관심 영역(Region of interest)은

간, 췌장, 신장은 100 mm², 하행대동맥, 간문맥, 하대정맥은 25 mm²내에서 Fig. 1에서 수집하였다.

3.2 정성적 평가

고정 주입 프로토콜을 이용한 A 그룹과 체중에 기반한 프로토콜을 적용하여 20% 조영제를 감소한 B2그룹, 그리고 20%의 조영제 감소와 20%의 지연 시간을 동시에 적용한 C3그룹을 구분하였으며, 10년 이상의 임상 경력을 지닌 2명의 방사선사가 Fig. 1의 (B) 단면영상에서 연부조직 실질과 혈관의 조영 증강의 정도와 심장 주변의 조영제에 의한 인공물 발생여부를 5점 척도(1 : 불량, 2 : 미숙, 3 : 보통, 4 : 양호, 5 : 우수)로 사용하여 독립적으로

영상 품질에 대하여 주관적인 평가를 수행하였다.

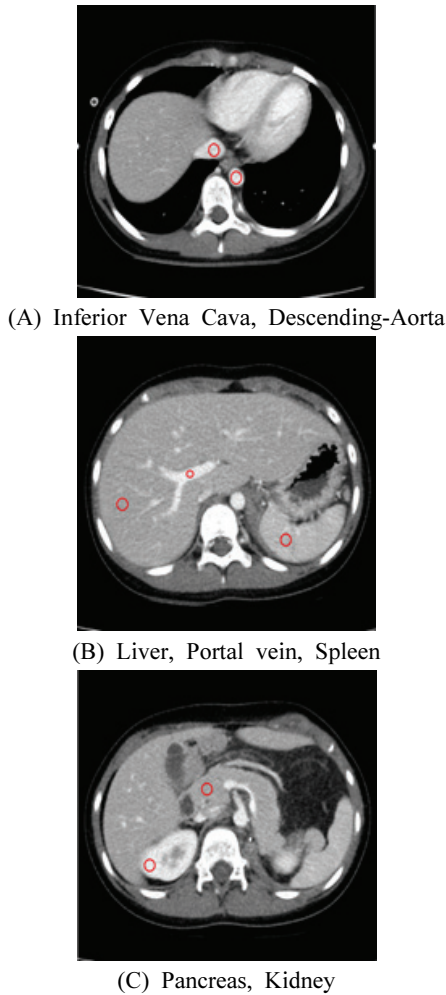


Fig. 1. Regions of interest in Abdominal Axial Images for Measurement of Image Quality.

4. 통계분석

통계분석을 위하여 PASW Statistics 18. Release 18.0.0 프로그램을 사용하였다. 조영제 주입 프로토콜의 적용과 주입량 조절 및 지연시간의 변화에 따른 집단간 CT 감쇄계수와 SNR의 변화를 파악하기 위하여 One-way anova 분석을 시행하였으며, Bonferroni로 사후 검정하였다.

그리고 조영 증강의 정도 및 인공에 대한 정성적 분석을 위하여 5점 척도의 점수를 이용하여, Mann-Whitney 방법으로 비모수 검정을 실행하였다. 모든 통계학적 유의 수준은 0.05 이하로 정하였다.

III. RESULT

1. 조영제 투여방법과 주입량의 차이에 따른 화질 평가

조영제 투여 방법과 주입량의 차이에 따른 장기와 혈관의 CT 감쇄계수와 SNR을 측정한 결과는 Table 4와 같다.

조영제를 10% 감소하고 생리식염수를 추가 투여한 B1그룹과 대조군 A그룹의 장기별 CT 감쇄 계수의 차이는 각각 하행 대동맥 73.27 ± 17.17 HU, 간문맥 84.58 ± 12.10 HU, 하대정맥 31.40 ± 9.81 HU, 간 실질 16.15 ± 4.23 HU, 췌장 13.58 ± 5.79 HU, 비장 30.51 ± 7.01 HU, 신장 39.64 ± 9.87 HU로 유의한 차이를 나타냈다. ($p < 0.05$) 그리고 SNR은 하행 대동맥과 간문맥에서 각각 3.85 ± 1.25 , 3.36 ± 1.23 정도 차이를 보였다. ($p < 0.05$) 그러나 조영제를 각각 20%, 30% 감소시킨 B2, B3그룹과 A그룹의 CT 감쇄계수는 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$). 그리고 주입 프로토콜은 동일하게 유지하면서 조영제 주입량만 변화한 B1, B2, B3그룹을 비교 평가한 결과, 조영제를 약 10% 줄임으로써 CT 감쇄 계수가 각각 하행 대동맥 21.88~30.68%, 간문맥 25.08~34.69%, 하대정맥 23.51~26.98%, 간 실질 9.41~13.36%, 췌장 5.24~11.94%, 비장 8.53~18.60%, 신장 9.47~17.33% 가량 감소되었으며 연부조직 장기보다 혈관에서 큰 차이를 나타냈다. 그리고 SNR은 각각 하행대동맥 26.98~32.11%, 간문맥 27.65~28.15%, 하대정맥 18.05~18.57%, 그리고 간 실질 13.21~21.97%, 췌장 12.54~15.60%, 비장 15.28~15.58%, 신장 16.90~20.69% 가량 감소되었다. 따라서 몸무게를 반영한 조영제 주입 프로토콜의 적용여부에 따라서 문맥기의 조영 증강기의 차이가 발생하였고, 특히 생리식염수의 추가적인 투여는 조영 증강의 효과를 상승시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

2. 스캔 지연시간의 변화에 따른 화질평가

스캔 지연시간의 변화에 따른 장기와 혈관의 CT 감쇄계수와 SNR을 측정한 결과는 Table 5와 같다.

Table 4. CT Number and SNR of Target Organs with between Injection Protocol

Target Organ	Study group				F-value	P-value	
	A	B1	B2	B3			
CT Number (HU)	Ds-A	223.48 ± 64.57	296.75 ± 87.20	231.83 ± 41.99	205.69 ± 41.69	9.589	0.001
	PV	227.33 ± 56.14	311.91 ± 46.03	233.68 ± 29.32	203.72 ± 33.25	26.919	0.001
	IVC	177.24 ± 41.59	208.64 ± 42.55	159.59 ± 26.49	152.34 ± 24.79	11.563	0.001
	LP	120.07 ± 16.78	136.22 ± 12.93	123.41 ± 12.93	118.03 ± 15.83	6.770	0.001
	Pa	121.11 ± 18.90	134.69 ± 29.68	127.63 ± 15.68	118.61 ± 17.03	2.827	0.043
	Sp	139.86 ± 21.18	170.37 ± 33.82	155.83 ± 16.10	138.67 ± 27.78	8.506	0.001
	Ki	172.90 ± 35.54	212.54 ± 35.04	192.41 ± 29.76	175.71 ± 41.23	6.452	0.001
SNR	Ds-A	14.05 ± 4.97	17.89 ± 6.28	12.15 ± 2.17	13.06 ± 3.33	7.216	0.001
	PV	15.64 ± 5.66	19.00 ± 4.60	13.74 ± 2.86	13.65 ± 3.69	7.288	0.001
	IVC	11.43 ± 4.47	11.46 ± 2.90	9.33 ± 2.69	9.39 ± 2.73	3.101	0.030
	LP	7.50 ± 2.53	7.67 ± 2.00	5.99 ± 1.51	6.66 ± 2.09	3.326	0.023
	Pa	7.04 ± 2.09	7.18 ± 3.01	6.06 ± 1.31	6.28 ± 1.65	1.666	0.180
	Sp	8.14 ± 2.48	8.69 ± 3.04	7.33 ± 1.85	7.36 ± 2.50	1.604	0.194
	Ki	9.92 ± 2.97	11.24 ± 2.65	8.91 ± 2.60	9.34 ± 2.71	3.110	0.030

SNR: Signal Noise Ratio, Ds-A : Descending Aorta, PV : Portal Vein, IVC : Intra Vena Cava, LP : Liver Parenchyma, Pa : Pancreas, Sp : Spleen, Ki : Kidney

Table 5. CT Number of Target Organs according to Injection Protocol

Target Organ	Study group				F-value	P-value	
	C1	C2	C3	C4			
CT Number (HU)	Ds-A	231.83 ± 41.99	216.05 ± 41.99	215.20 ± 33.73	199.05 ± 39.72	2.374	0.076
	PV	233.68 ± 29.32	236.08 ± 51.07	268.72 ± 50.28	238.08 ± 53.20	2.833	0.043
	IVC	159.59 ± 26.49	164.43 ± 33.61	198.25 ± 30.39	149.71 ± 33.17	10.519	0.001
	LP	117.67 ± 12.71	116.12 ± 12.29	140.42 ± 11.70	121.99 ± 20.70	13.118	0.001
	Pa	127.63 ± 15.68	125.96 ± 14.25	147.24 ± 21.42	124.88 ± 20.10	7.796	0.001
	Sp	155.83 ± 16.10	144.19 ± 20.05	167.98 ± 24.96	141.46 ± 21.16	7.669	0.001
	Ki	192.41 ± 29.77	187.87 ± 36.68	224.39 ± 38.23	183.70 ± 34.17	6.436	0.001
SNR	Ds-A	12.14 ± 2.18	14.21 ± 5.63	11.86 ± 3.09	11.73 ± 4.39	1.848	0.144
	PV	13.74 ± 2.86	16.83 ± 6.90	16.21 ± 4.77	15.41 ± 6.43	2.551	0.061
	IVC	9.33 ± 2.69	10.70 ± 2.54	11.71 ± 3.45	9.24 ± 4.28	2.902	0.039
	LP	5.99 ± 1.51	6.54 ± 2.29	7.54 ± 1.91	6.69 ± 2.08	2.440	0.700
	Pa	6.06 ± 1.31	6.87 ± 2.21	7.96 ± 2.56	6.25 ± 1.49	4.379	0.006
	Sp	7.33 ± 1.85	7.74 ± 3.11	8.45 ± 2.50	6.99 ± 1.23	1.712	1.171
	Ki	8.91 ± 2.60	9.86 ± 3.50	11.30 ± 3.18	9.84 ± 3.11	2.757	0.047

SNR: Signal Noise Ratio, Ds-A : Descending Aorta, PV : Portal Vein, IVC : Intra Vena Cava, LP : Liver Parenchyma, Pa : Pancreas, Sp : Spleen, Ki : Kidney

조영제 주입 후 스캔 지연시간의 변화에 따른 복부 장기의 조영 증강기를 평가한 결과, 지연시간이 10%씩 증가함에 따라서 하행대동맥의 CT 감쇄계수는 6.81~7.87% 가량 지속적으로 감소되었다. 그리고 나머지 장기는 20%의 지연시간을 설정한 C3 그룹에서 가장 높은 CT 감쇄 계수를 보였으며, 지연시간 없이 스캔한 A그룹과의 차이는 각각 간 실질 17.01±4.37 HU, 췌장 19.61±5.34 HU, 비장 12.14±6.20 HU, 신장 31.97±10.27 HU로 나타났다. 그리고 간문맥은 35.04±13.81 HU, 하대정맥 38.65±9.14 HU의 높은 차이를 보였다.

SNR의 차이를 비교한 결과, C2그룹에서 하행대정맥과 간문맥이 가장 높은 값을 보였으며, C1 그룹과의 차이는 각각 2.07±1.20, 3.09±1.62이었다. 그리고 나머지 장기의 SNR은 C3그룹에서 가장 높게 나타났고, C1그룹과 C3 그룹의 차이는 각각 하대정맥 2.38±0.98, 간 실질 1.55±0.58, 췌장 1.91±0.58, 비장 1.12±0.67, 신장 2.38±0.09이었다. 따라서 조영제를 투여 직후 검사하는 것보다, 조영제와 생리식염수 투여 후, 20% 지연시간을 설정하여 스캔한 영상이 실질 장기의 조영 효과가 가장 높았다.

3. 생리식염수 주입 적용 여부와 스캔 지연시간의 변화에 따른 정성적 화질평가

생리식염수 주입 프로토콜의 적용 여부와 스캔 지연시간의 변화에 따라서 복부장기의 조영 증강과 심장주변의 빔 경화 인공물에 대하여 5 점 척도로 영상의 적성적 품질 평가를 시행한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Subjective Image Quality according to Study Group

Image quality	Study group			P-value
	A	B2	C3	
Degree of enhancement	3.2±0.5	3.6±0.5	3.7±0.4	0.002
Beam-hardening artifacts	3.4±0.8	2.5±0.4	2.0±0.3	0.001

체중에 기반한 조영제 주입 프로토콜을 적용하고 주입량을 20% 감소한 적용한 B2그룹이 고정 주입조건을 사용한 A그룹에 비하여 조영증강 정도는 더 높았고, 심장주변의 인공물은 더 감소하였다. 그리고 지연시간을 20% 추가한 C3그룹이 B2그룹보

다 조영증강의 효과가 더 높았으며 인공물은 다소 감소하였다.

IV. DISCUSSION

연구의 목적은 소아환자의 복부 CT 검사에서 체중에 기반을 둔 주입 프로토콜을 적용하여 기존의 표준 고정 투여 방법보다 조영제를 감소시키면서 문맥기 화질을 저하시키지 않는지 여부를 확인하는 것이다. 많은 CT 부서에서 조영제를 고정적으로 투여하는 방법이 매우 일반적이다. 이러한 방법은 환자의 신체 습관을 고려하지 못하고 불필요한 조영제 투여 비용을 증가시키는 요인이다. 체중은 혈관 및 실질의 조영 증강에 영향을 미치는 가장 중요한 요인으로 간주되며 조영 증강 정도와 체중은 반비례한다¹⁶. 우리는 환자의 체중을 복부 강화 특성에 영향을 미치는 중요한 개별 요인 중 하나로 간주했다. 결과적으로 조영제의 불충분한 양은 진단 정보를 감소시킬 수 있는 반면 과도한 양의 요오드는 필요하지 않으며, 조영제에 취약한 환자는 신병증(contrast induced nephropathy, 이하 CIN)에 걸리기 쉽다¹⁷. Kondo H와 George AJ의 연구에서 환자의 체중에 중점을 두어 조영제 용량을 변화하거나 스캔 지연 시간을 조절하는 논문이 발표되었지만^{18,19}, 소아 환자를 위한 연구는 많지 않다. 따라서 복부 CT 검사를 시행하는 소아 환자의 신체 특성에 맞는 최적화된 조영제 프로토콜을 개발하고자 하였으며, 체중을 기반으로 조영제와 생리식염수의 주입 속도 및 주입량 그리고 검사 지연시간을 자동으로 산출할 수 있도록 적용하였다. 그리고 프로토콜은 임상 효율성을 향상하기 위하여 쉽게 이용할 수 있도록 엑셀 시트를 사용하였다.

조영제에 의해 환자의 전신 동맥, 폐동맥 및 문맥의 원자번호가 증가하게 되고, 이는 광전흡수의 양을 증가시켜 대조도의 향상에 기여한다. CT 검사에서 복부 장기의 실질과 연부조직 그리고 혈관을 잘 묘사하려면 일정량의 총 요오드의 주입이 반드시 필요하다. 일반적인 복부 CT 영상에서 조영제 주입과 관련된 매개변수는 상복부의 장기인 간, 췌장 및 비장 스캔과 관련된 조영증강 최적화와 관련이 있다. 그리고 잠재적인 악성 종양을 감지하고

정맥 혈전증과 같은 합병증을 배제하기 위하여 신장과 골반 정맥계도 최적화된 단계에서 진단이 이루어져야 한다^[15]. 특히 빠른 MDCT의 영상 획득으로 적절한 혈관의 조영 증강과 연부조직 영상을 보장하기 위하여 요오드 투여율을 높여야 하는데, 주입 속도를 증가시키거나 더 높은 요오드 농도의 조영제를 사용하여 달성할 수 있다^[20]. 그리고 생리식염수 투여는 조영제 세척을 수행하여 정맥계의 잔여 조영제를 씻어낼 수 있는 우려가 있으므로 실질 흡수를 증가시키기 위하여 오히려 더 많은 양의 요오드를 주입시킬 우려가 있다^[21]. 그러므로 조영제 투여량과 주입속도의 조절, 그리고 생리식염수의 투여는 매우 신중하게 선택되어야 한다. 본 연구의 주입 프로토콜은 일반적인 복부 CT검사에서 사용되는 단일 농도의 조영제를 적용하였으며, 생리식염수는 정맥 내 불필요한 잔여 조영제를 씻어낼 수 있는 10 ~ 20 ml 범위에서 세밀하게 조절하였다. 결과적으로 일반적인 소아 복부 CT검사에서 조영제를 몸무게 2배로 주입하는 것은 불필요하게 많이 주입하는 것이고, 이를 보상하기 위한 생리식염수는 조영제 사용을 20% 가량 감소시킬 수 있었다.

MDCT를 이용한 복부 혈관계 및 실질의 조영 증강은 환자의 체중과 심박출량, 그리고 조영제 매개 변수인 주사율, 주사량, 요오드 농도, 총 요오드 부하 및 스캔 지연 등이 영향을 미친다^[9]. 최적의 동맥기 영상을 획득하기 위해서는 조영제의 주입 속도와 주입 지속시간이 매우 중요한 반면, 연부조직을 강화하기 위한 문맥기 영상은 요오드 총 투여량과 스캔 지연시간이 핵심이고 주입 속도는 중요한 요소가 아니다^[21]. 특히 소아 환자는 성장과정에서 신체 발육이 급격하게 변화하고 심혈관 순환 시간이 매우 빠르게 때문에, 목표하는 장기의 조영제 도달을 위하여 주입기간과 지연시간을 적정하게 보상하여야 한다. 본 논문은 균형 잡힌 화질을 달성하기 위해 소아 환자의 더 빠른 순환 시간에 균형을 맞추었고 주입 기간은 30 sec 이내로 제한하였다. 그리고 체중 기반 프로토콜의 임상적 장점은 일정한 주입 환경을 유지하여 균일한 스캔 타이밍을 얻을 수 있는 것이다. 그리고 저체중 소아환자의 최적 문맥기 영상을 획득하기 위해 조영제 주입 후에 일정기간의 스캔 지연 시간이 필요하였다.

임상에서는 소아 환자의 효과적인 조영증강을 위해서는 주입속도와 주입량을 통제할 수 있는 정맥 루트확보를 고려하는 것부터 시작해야 한다. Hammerstingl RM의 연구에서 20~22 게이지 카테터가 튜브 마개를 파손하지 않고 1.0~5.0 mL/sec의 주입 속도를 허용한다고 입증하였다^[22]. 일반적으로 23 게이지 나비 바늘 또는 24 게이지 혈관 조영 카테터는 1.0~2.0 mL/sec의 주입 속도를 허용한다. 그리고 유아나 신생아 같은 소아환자의 조영제의 주입량은 1 kg당 1.5~2.0배이다^[23]. 본 연구는 소아환자의 안전한 조영제 투여를 위하여 주입량을 매우 신중하게 조절할 필요가 있었다. 소아의 혈관이 조영제 주입 전에 압력을 견딜 수 있는지 사전 생리식염수 확인을 필수적으로 시행하였다. 그리고 조영제에 의한 의존적 영향을 최소화하기 위해 300 mgI/ml 농도의 단일 조영제를 518 mgI/kg로 일정한 요오드 부하를 적용하였다.

소아 환자의 빈약한 혈관으로 인한 루트 확보의 어려움과 비정상적인 혈관 접근 등으로 인하여 주입 프로토콜의 적용에 맞는 속도를 선택하지 못하는 환자는 실험군에서 제외하였다. 또한 영상 획득 타이밍은 심박출량 및 순환 시간 등 개별 환자의 특성 변화와 같은 다양한 요인에 의해 복잡한 메커니즘을 지닌다^[9,13]. 선천성 심장질환을 지닌 환자는 연구대상에서 제외하였지만, 기타 순환계 장애가 있는 환자를 모두 제외하지는 못하였다. 그리고 발이나 중심 정맥관을 통한 조영제 주입할 경우, 조영 증강의 최고 도달시간이 변화하기 때문에 주입 기간과 검사 지연 시간의 조절이 필요하다^[24,25]. 본 연구는 팔의 정주와 정맥에 조영제를 주입하는 경우만 실험하였다. 따라서 주입 프로토콜은 다른 혈관 루트를 이용한 조영제 주입에 적용되지 않는다. 최근 발표된 바와 같이, 조영제 주입량은 체중뿐만 아니라 다양한 신체 조건의 변화를 반영하여 조절되어야 한다. Trout AT의 연구에서 체표면적은 신체 크기의 넓은 범위에 대한 요오드 복용량의 조절을 제공하기 위해 체중과 키 요인 모두를 설명한다고 제안했다^[24]. 또한 저선량을 적용하는 소아환자에게 통계적 반복재구성 기법은 잡음을 감소시킴으로서 화질을 향상시킬 수 있다. 이에 소아환자들도 체중 외에 다양한 검사 조건 및 신체 상태를 고

려하고 임상에서 주입프로토콜을 효율적으로 적용할 수 있도록 추가적인 연구가 필요하다.

V. CONCLUSION

소아 복부 CT 검사 시, 체중에 기반한 조영제 주입 프로토콜의 적용을 통하여 최적의 문맥기 영상 특성화가 가능하다. 또한 적절한 스캔 지연시간은 복부 장기의 조영 증강 효과를 달성에 도움이 되며, 생리식염수의 사용은 불필요한 조영제 사용을 억제할 수 있다. 임상에서 각각의 소아환자의 신체 특성에 맞는 일관된 조영제 주입 조건을 설정함으로써 영상의 품질을 효율적으로 달성할 수 있을 것으로 기대한다.

Reference

- [1] S. Itoh, M. Ikeda, M. Achiwa, T. Ota, H. Satake, T. Ishigaki, "Multiphase contrast-enhanced CT of the liver with a multislice CT scanner", *European Radiology*, Vol. 13, No. 5, pp. 1085-1094, 2003. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-002-1607-8>
- [2] W. D. Foley, U. Kerimoglu, "Abdominal MDCT: liver, pancreas, and biliary tract", *Seminars in Ultrasound, CT, & MRI*, Vol. 25, No. 2, pp. 122-144, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sult.2003.12.001>
- [3] Section on Radiology; American Academy of Pediatrics, "Diagnostic Imaging of Child Abuse", *Pediatrics*, Vol. 123, No. 5, pp. 1430-1435, 2009. <http://dx.doi.org/10.1542/peds.2009-0558>
- [4] M. J. Siegel, D. M. Balfe, B. L. McClennan, R. G. Levitt, "Clinical utility of CT in pediatric retroperitoneal disease: 5 years experience", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 138, No. 6, pp. 1011-1017, 1982. <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.138.6.1011>
- [5] M. J. Callahan, S. Servaes, E. Y. Lee, A. J. Towbin, S. J. Westra, D. P. Frush, "Practice patterns for the use of iodinated i.v. contrast media for pediatric CT studies: a survey of the Society for Pediatric Radiology", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 202, No. 4, pp. 872-879, 2014. <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.13.11106>
- [6] M. Kormano, K. Partanen, S. Soimakallio, T. Kivimaki, "Dynamic contrast enhancement of the upper abdomen: effect of contrast medium and body weight", *Investigative Radiology*, Vol. 18, No. 4, pp. 364-367, 1983. <https://doi.org/10.1097/00004424-198307000-00013>
- [7] J. F. Platt, K. A. Reige, J. H. Ellis "Aortic enhancement during abdominal CT angiography: correlation with test injections, flow rates, and patient demographics", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 172, No. 1, pp. 53-56, 1999. <https://doi.org/10.2214/ajr.172.1.9888738>
- [8] M. Riccabona, "Application of a second-generation US contrast agent in infants and children--a European questionnaire-based survey", *Pediatric Radiology*, Vol. 42, No. 12, pp. 1471-1480, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s00247-012-2472-5>
- [9] K. T. Bae, "Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches", *Radiology*, Vol. 256, No. 1, pp. 32-61, 2010. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.10090908>
- [10] J. K. Han, B. I. Choi, A. Y. Kim, S. J. Kim, "Contrast media in abdominal computed tomography: optimization of delivery methods", *Korean Journal of Radiology*, Vol. 2, No. 1, pp. 28-36, 2001. <http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2001.2.1.28>
- [11] D. P. Frush, "Pediatric abdominal CT angiography", *Pediatric Radiology*, Vol. 38, No. 2, pp. 259-266, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s00247-008-0795-z>
- [12] H. W. Goo, "State-of-the-art CT imaging techniques for congenital heart diseases", *Korean Journal of Radiology*, Vol. 11, No. 1, pp. 4-18, 2010. <http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2010.11.1.4>
- [13] G. D. Rubin, M. J. Lane, D. A. Bloch, A. N. Leung, P. Starkm, "Optimization of thoracic spiral CT: effects of iodinated contrast medium concentration", *Radiology*, Vol. 201, No. 3, pp. 785-791, 1996. <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.201.3.8939232>
- [14] Y. K. Kim, Y. M. Kim, "Optimization of Protocol for Injection of Iodinated Contrast Medium in Pediatric Thoracic CT Examination", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 6, pp. 879-887, 2019. <https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.6.879>

- [15] K. Awai, M. Imuta, D. Utsunomiya, T. Nakaura, S. Shamima, K. Kawanaka, S. Hori, Y. Yamashita, "Contrast Enhancement for Whole-body Screening Using Multidetector Row Helical CT : Comparison between Uniphasic and Biphasic Injection Protocols", *Radiation Medicine*, Vol. 22, No. 5, pp. 303-309, 2004.
- [16] H. Kondo, M. Kanematsu, S. Goshima, Y. Tomita, M. J. Kim, N. Moriyama, M. Onozuka, Y. Shiratori, K. T. Bae, "Body size indexes for optimizing iodine dose for aortic and hepatic enhancement at multidetector CT: comparison of total body weight, lean body weight, and blood volume", *Radiology*, Vol. 254, No. 1, pp. 163-169, 2010. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090369>
- [17] R. Rear, R. M. Bell, D. J. Hausenloy, "Contrast-induced nephropathy following angiography and cardiac interventions", *Heart*, Vol. 102, No. 8, pp. 638-648, 2016. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2014-306962>
- [18] A. J. George, N. E. Manghat, M. C. K. Hamilton "Comparison between a fixed-dose contrast protocol and a weight-based contrast dosing protocol in abdominal CT", *Clinical Radiology*, Vol. 71, No. 12, pp. 1314-1319, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crad.2016.07.009>
- [19] A. Tschugunow, M. Puesken, K. U. Juergens, F. Beyer, B. Buerke, H. Seifarth, W. Heindel, J. Wessling, "Optimization of scan delay for routine abdominal 64-slice CT with body weight-adapted application of contrast material", *RöFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, Vol. 181, No. 7, pp. 683-690, 2009. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0028-1109201>
- [20] D. Fleischmann "Use of high-concentration contrast media in multiple-detector-row CT: principles and rationale", *European Radiology*, Vol. 13, No. 5, pp. 14-20, 2003. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-003-2097-z>
- [21] R. M. Hammerstingl, T. J. Vogl, "Abdominal MDCT: protocols and contrast considerations", *European Radiology Supplements*, Vol. 15, No. 5, pp. 78-90, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s10406-005-0169-7>
- [22] S. McCarthy, A. A. Moss, "The use of a flow rate injector for contrast-enhanced computed tomography", *Radiology*, Vol. 151, No. 3, pp. 800, 1984. <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.151.3.6718744>
- [23] A. T. Trout, J. R. Dillman, J. H. Ellis, R. H. Cohan, P. J. Strouse, "Patterns of intravenous contrast material use and corticosteroid premedication in children--a survey of Society of Chairs of Radiology in Children's Hospitals (SCORCH) member institutions", *Pediatric Radiology*, Vol. 41, No. 10, pp. 1272-1283, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s00247-011-2112-5>
- [24] K. T. Bae, J. P. Heiken, J. A. Brink, "Aortic and hepatic peak enhancement at CT: effect of contrast medium injection rate--pharmacokinetic analysis and experimental porcine model", *Radiology*, Vol. 206, No. 2, pp. 455-464, 1998. <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.206.2.9457200>
- [25] M. Yang, X. M. Mo, J. Y. Jin, J. Zhang, B. Liu, M. Wu, G. J. Teng, "Image quality and radiation exposure in pediatric cardiovascular CT angiography from different injection sites", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 196, No. 2, pp. 117-122, 2011. <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.10.4360>

소아 복부 CT 검사에서 체중에 기반한 조영제 주입 프로토콜 적용에 따른 조영증강의 최적화

김영균^{1,2}, 한동균^{2,*}

¹삼성서울병원 영상의학과

²을지대학교 방사선학과

요약

본 논문의 목적은 복부 CT 검사를 시행하는 소아환자에게 체중 기반 조영제 프로토콜을 적용함으로써 고정 투여법보다 조영제를 감소시키면서 최적의 문맥기 화질을 달성하는 것이다. Discovery 750HD(General Electric medical systems, Milwaukee, USA)를 이용하였으며, 만 18세 미만의 소아 남자 85명과 여자 82명, 총 167명을 대상으로 연구하였다. 300 mgI/ml(Xenetix, Guerbet, France)의 조영제를 몸무게 2배로 고정 주입한 그룹과 체중기반 프로토콜을 적용하면서 주입량을 10%씩 단계적으로 감소시키면서 생리식염수를 주입한 그룹을 구분하였으며, 스캔 지연 시간을 추가로 변화시키면서 복부 장기의 CT 감쇄계수와 SNR을 비교 평가하였다. 또한 조영 증강의 정도와 심장 주변의 빔 경화 인공물을 정성적으로 평가하였다. 체중기반 프로토콜을 적용하고 20%의 조영제를 감소한 그룹이 몸무게 2배로 고정 주입한 그룹과 조영 증강이 가장 유사하였으며, 그리고 20%의 지연시간을 가진 그룹이 가장 조영 증강 효과가 높았다. 조영제 주입 후 적절한 지연시간은 실질 장기의 조영 효과를 상승시켰으며, 생리식염수를 적용한 주입 프로토콜은 심장 주변의 인공물이 감소시켰다. 결론적으로 소아 복부 CT 검사 시, 체중 기반 프로토콜의 적용과 적절한 지연시간의 조절은 불필요한 조영제 사용을 억제하고 최적의 문맥기 영상의 특성화를 가능하게 한다.

중심단어: 소아 복부CT, 체중기반 조영제 주입, 요오드 조영 증강, 스캔 지연시간

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김영균	삼성서울병원 영상의학과 을지대학교 방사선학과	방사선사 대학원생
(교신저자)	한동균	을지대학교 방사선학과	교수