

Optimization of Protocol for Injection of Iodinated Contrast Medium in Pediatric Thoracic CT Examination

Yung-Kyoon Kim,¹ Yon-Min Kim^{2,*}

¹Department of Radiology, Samsung Medical Center

²Department of Radiological Science, Wonkwang health science University

Received: August 29, 2019. Revised: October 28, 2019. Accepted: November 30, 2019

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish a physiological injection protocol according to body weight, in order to minimize amount of contrast medium and optimize contrast enhancement in pediatric patients performing thoracic CT examinations. The 80 pediatric patients under the age of 10 were studied. Intravenous contrast material containing 300 mgI/ml was used. The group A injected with a capacity of 1.5 times its weight, and groups B, C and D added 5 to 15 ml of normal saline with a 10% decrease in each. The physiologic model which can be calculated by weight about amount of injection of contrast medium and normal saline, flow rate and delay time were applied. To assess image quality, measured average HU value and SNR of superior vena cava, pulmonary artery, ascending and descending aorta, right and left atrium, right and left ventricle. CT numbers of subclavian vein and superior vena cava were compared to identify the effects of reducing artifacts due to normal saline. Comparing SNR according to the contrast medium injection protocol, significant differences were found in superior vena cava and pulmonary artery, descending aorta, right and left ventricle, and CT numbers showed significant differences in all organs. In particular, B group with a 10% decrease in contrast medium and an additional injection of saline showed a low degree of contrast enhancement in groups with a decrease of more than 20%. In addition, the group injected with normal saline greatly reduced contrast enhancement of subclavian vein and superior vena cava, and the beam hardening artifact by contrast medium was significantly attenuated. In conclusion, the application of physiological protocol for injection of contrast medium in pediatric thoracic CT examinations was able to reduce artifacts by contrast medium, prevent unnecessary use of contrast medium and improve the effect of contrast enhancement.

Keywords : Pediatric thoracic CT, Iodine enhancement, Optimized injection protocol, Saline injection

I . INTRODUCTION

소아 흉부 CT검사에서 정맥 내 조영제 주입은 질병의 진단 및 추적을 위하여 일상적으로 적용되어 왔다.^[1] 특히 종양의 평가와 혈관기형의 상태 파악 그리고 외상환자의 응급진단 등을 위하여 신생아, 유아, 소아 등 어린 환자에게 최소한의 조영제 사용은 필수적이다.^[2,3] 이처럼 소아에게 조영제를 다양한 부위에 적용하여 왔으나, 최적의 사용법에 관한 연구와 관련된 자료는 매우 부족한 실정이다.

미국 방사선 학회(American College of Radiology)와 유럽 비뇨기 방사선 학회(European society of urogenital radiology)에서 어린이의 정맥주사용 조영제 사용에 관한 부분이 있으나, 대부분 알레르기 반응과 대조군 유발 신장 병증의 발생률 및 치료에만 초점을 두었고,^[4,5] 적절한 조영 증강을 위한 조영제 사용법에 대하여 언급하지 않았다. 따라서 소아 흉부 CT 검사에서 요오드 조영제의 정맥 내 투여에 관한 적절한 가이드라인의 정립이 필요하다.

환자의 신체 상태는 혈관 및 장기의 실질 내 조

* Corresponding Author: Yon-Min Kim

E-mail: kimyonmin@wu.ac.kr

Tel: +82-63-840-1238

영 증강에 영향을 미치는 가장 중요한 환자 인자로 고려되며, 조영 증강의 정도와 신체 습관의 역학 관계가 역 상관관계에 있다.^[6] 특히 소아는 성인과 비교하여 빠른 심박수, 짧은 혈액 순환 시간, 작은 조직 구조물, 미성숙한 신기능을 지니고 있다. 이러한 소아 신체의 성숙도는 조영제 사용량과 적용기에 상당한 영향을 미친다.^[7] 따라서 성공적인 조영 증강을 위하여, 주입 조건을 성인과 다르게 접근해야 하며 소아환자의 생리학적 특성을 반드시 반영하여야 한다. 그리고 불충분한 조영제의 양은 진단에 필요한 정보를 감소시킬 수 있는 반면, 과도한 요오드 투여는 신기능 저하 환자에게 신장 병증을 일으킬 수 있으므로 불필요하다.^[8]

몸무게는 조영제 주입량을 결정하는 매우 중요한 요소로서 조영 증강 정도를 결정하는 불가분의 관계에 있다. 더불어 혈관이나 연부조직의 조영 증강에 영향을 주는 중요한 요소이다. 많은 연구자들의 논문에서 몸무게에 기반하여 조영제의 용량을 적절하게 조절하여 사용하는 것을 권장하고 있다.^[9-11] 대부분 1.5 ~ 2.0 ml/kg 정도 소량의 조영제가 신생아 및 유아에게 투여된다.^[12] 따라서 조영제 주입량을 몸무게에 기반하여 조절함으로써 불필요한 사용을 최대한 억제할 수 있다. 또한 작은 말초 정맥 혈관을 지닌 소아환자에게서 작은 게이지의 바늘의 사용은 불가피하다. 일반적으로 손이나 발의 작은 말초 정맥에 22 ~ 24 게이지의 혈관 도관을 신생아나 유아에게 사용한다. 이것은 조영제의 주입 속도를 감소시킬 수 있고, 검사의 지연시간을 변화시키는 요인이기도 하다. 보편적으로 소아 환자는 혈관 손상을 예방하기 위하여 혈관의 기능과 접근에 따라서 주입 속도는 2.0 ml/sec 이내로 제한된다.^[13] 그러므로 소아환자의 혈관 상태에 따른 적절한 주입 속도의 조절은 불가피하다.

마지막으로 조영제 주입 직후, 생리식염수의 투여는 조영 증강의 정도와 효율을 증가시키고 분산을 감소시킬 수 있다. 또한 흉부 CT에서 조영제 주입 용량을 감소시키고 상대정맥(Superior vena cava)과 쇄골하정맥(Subclavian artery)에서 발생하는 빔 경화 인공물을 감소시킨다. 특히 선천성 심장질환(Congenital heart disease)를 관찰하기 위한 소아 관

상동맥 CT검사에서 더욱 유용하다.^[14,15] 그러므로 소아의 흉부 CT검사에서 생리식염수의 적용은 반드시 필요하다.

본 논문의 흉부 CT검사를 시행하는 소아환자에게 조영제 주입량을 최소화하면서 조영 증강은 최적화하기 위하여, 몸무게의 변화에 따른 주입량과 주입 속도 그리고 지연 시간의 조절 및 생리식염수 투여를 반영한 생리학적 주입 프로토콜을 정립하여 그 유용성을 평가하는 것이다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 연구 대상 및 방법

2018년 1월 1일부터 2019년 7월 31일까지 흉부 CT검사를 시행한 만 10세 이하의 소아 환자 80명을 대상으로 하였다. CT 장비는 Discovery 750HD (General Electric medical systems, Milwaukee, USA) 64 slice 다중검출기 단층촬영(Multidetector Computed Tomography)를 이용하였다. 혈관 조영제 300 mgI/ml(Xenetix, Guerbet, France)를 37°로 가온하여 자동주입기로 팔의 정맥 내 주입하였다. A그룹의 조영제 주입량은 몸무게의 1.5배를 주입하였고, 나머지 B, C, D 그룹은 10%씩 감소하였다. 또한 B, C, D 그룹은 조영제의 총 투여량 감소와 빔 경화 인공물 감소를 위하여, Table 1과 같이 생리식염수 5 ~ 15 ml를 추가로 주입하였다. 주입 속도는 0.057 ml/sec/kg을 반영하여 0.5 ~ 1.7 ml/sec 이내에서 조절하면서 투여하였으며, 지연시간은 35 sec 이내로 설정하였다. 검사자의 편의성과 일정한 주입 조건을 유지하기 위하여, 몸무게의 변화에 따라서 조영제와 생리식염수의 주입 속도 및 주입량 그리고 지연시간을 자동으로 계산할 수 있는 생리학적 모델의 엑셀 시트를 개발하여 적용하였다.

관전압을 20 kg 미만은 80 kV, 20 kg 이상은 100 kV를 적용하였다. 그리고 빔 콜리메이션은 40 mm, 회전 시간은 0.4 sec으로 설정하여 나선형 스캔하였다. CT 단면 영상의 획득 조건은 5.0 mm 절편 두께, Standard 알고리즘을 사용하였으며, 통계적 반복 재구성 기법(Adapted statistical iterative reconstruction) 50%를 적용하였다.

Table 1. Classification of pediatric patients according to injection volume of contrast medium

Study group (n)	Age (min/max)	Weight (kg)	Contrast medium (ml)	Normal saline (ml)
A (20)	5.70 ± 2.23 (2/10)	20.08 ± 5.70	(kg×1.5)×1.0	-
B (20)	4.55 ± 2.82 (1/10)	17.56 ± 7.79	(kg×1.5)×0.9	5 ~ 15
C (20)	4.30 ± 2.34 (1/8)	17.18 ± 5.63	(kg×1.5)×0.8	5 ~ 15
D (20)	4.15 ± 2.68 (1/10)	16.2 ± 5.83	(kg×1.5)×0.7	5 ~ 15

2. 화질 평가방법

1) 정량적 평가

단면 영상에서 상대정맥, 폐동맥, 상행대동맥, 하행대동맥, 우심방, 우심실, 좌심방, 좌심실의 CT number와 noise를 측정하여 신호 대 잡음비(Signal noise ratio)을 계산하였다. 그리고 생리식염수 주입에 따른 빔 경화 인공물 감소효과를 파악하기 위하여 쇄골하정맥과 상대정맥의 CT number를 측정하여 그룹간 비교 평가하였다. CT number와 SNR의 관심 영역(Region of interest)은 50 ~ 100 mm²의 크기로 측정하였다.

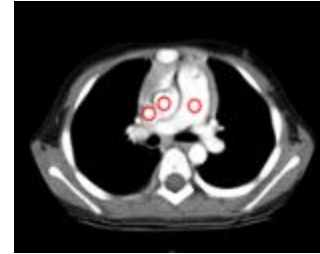
2) 정성적 평가

7년 이상의 임상 경력을 지닌 2 명의 방사선사가 조영 증강의 정도와 쇄골하정맥과 상대정맥 주변에서 발생하는 조영제에 의한 빔 경화 인공물의 평가를 위하여, 5점 척도(1 : 불량, 2 : 미숙, 3 : 보통, 4 : 양호, 4 : 우수)를 사용하여 영상 품질의 주관적인 평가를 수행하였다.

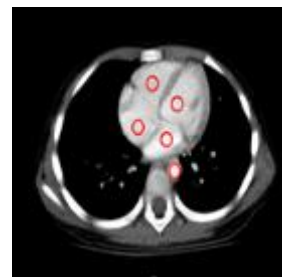
3. 통계분석

PASW Statistics 18. Release 18.0.0 프로그램을 사용하였다. 집단간 CT number와 SNR의 평균의 차이를 파악하기 위하여 One-way anova 분석을 시행하였으며, Bonferroni로 사후 검정하였다. 그리고 조영 증강의 정도 및 쇄골하정맥과 상대정맥 주변의 조영제에 의한 빔 경화 인공물에 대한 정성적 분석을

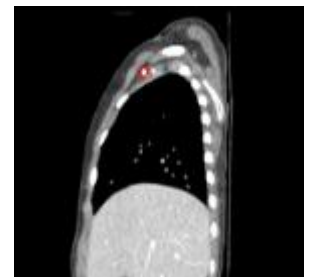
위하여 5점 척도로 평가한 후, Mann-Whitney 방법으로 비모수 검정을 시행하였다. 모든 통계학적 유의 수준은 0.05 이하로 정하였다.



(A)



(B)



(C)

Fig. 1. Regions of interest in chest images for measurement of image quality. Representative CT images are shown to ROI measurement of (A) SVC, As-A, PA in axial view, (B) RA, RV, LA, LV, Ds-A in axial view, (C) SV in sagittal view.

III. RESULT

1. 정량적 화질평가 결과

1) 조영제 주입 방법에 따른 장기의 SNR

조영제 주입 프로토콜에 따른 장기의 SNR을 일원 배치 분산 분석한 결과, Table 2와 같이 상대정맥과 폐동맥, 하행대동맥, 우심실, 좌심실에서 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). Bonferroni 사후 검정을 시행한 결과, 조영제만 주입한 A그룹과 비교하여 생리식염수를 추가로 투여하고 조영제를 10% 감소한 B그룹의 SNR은 모든 장기에서 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 따라서 생리식염수를 추가적으로 투여함으로써, 조영제 주입량을 10% 가량 감소하면서 조영 증강의 효과는 유지할 수 있었다.

2) 조영제 주입 방법에 따른 장기의 CT number

조영제 주입 프로토콜에 따른 장기의 CT number를 일원 배치 분산 분석한 결과, 모든 장기에서 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

Bonferroni 사후 검정을 시행한 결과, Table 3과 같이 조영제만 주입한 A그룹과 비교하여 생리식염수를 추가로 투여하고 조영제를 10% 감소한 B그룹의 CT number는 모든 장기에서 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 그러나 C그룹은 A그룹에 비하여 각각 폐동맥 59.11 HU, 우심방 68.92 HU, 우심실 55.58 HU의 차이로 낮게 측정되었다($p < 0.05$). D그룹은 A그룹에 비교하여 각각 상행대동맥 78.10 HU, 폐동맥 71.34 HU, 하행대동맥 86.65 HU, 우심방 92.68 HU, 우심실 76.72 HU, 좌심방 72.67 HU, 좌심실 59.98 HU의 차이로 더 낮게 나타났다($p < 0.05$). 따라서 생리식염수를 추가적으로 투여함으로써, 조영제 주입량을 10% 가량 감소하면서 조영 증강의 효과는 유지할 수 있었다. 그리고 B그룹과 C그룹의 CT number 차이는 장기별로 각각 상행대동맥 42.78 HU, 폐동맥 62.37 HU, 하행대동맥 46.34 HU, 우심실 41.82 HU, 우심방 42.09 HU, 좌심방 51.13 HU, 좌심실 48.63 HU이었으며, 조영제의 주입량을 10% 감소시킴으로써, CT number가 15.18 ~ 23.97% 낮게 나타났다.

3) 조영제에 의한 인공물의 정량적 평가

쇄골하정맥의 CT number를 비교 평가한 결과, Table 4와 같이 A 그룹과 B, C, D 그룹의 차이는 각각 856.68 HU, 1015.89 HU, 1179.44 HU이었으며, B, C, D그룹이 56.84, 67.40, 78.25% 더 낮게 측정되었다($p < 0.05$). 그리고 상대정맥의 CT number를 비교 평가한 결과, 조영제만 주입한 A그룹과 생리식염수를 추가로 주입한 B, C, D 그룹의 차이는 각각 33.56 HU, 101.29 HU, 141.62 HU이었으며, B, C, D그룹이 각각 9.95, 30.03, 42.00% 더 낮게 나타났다($p < 0.05$). 따라서 생리식염수를 추가한 주입한 B, C, D 그룹의 쇄골하정맥과 상대정맥의 조영 증강이 매우 감소됨을 확인할 수 있었다.

2. 조영 증강 정도와 인공물의 정성적 평가 결과

Mann-Whitney 비모수 검정을 시행한 결과, Table 5와 같이 조영제만 주입한 A그룹과 조영제를 10% 감소하고 생리식염수를 추가로 주입한 B 그룹간 조영 증강 정도의 차이는 없었다($p > 0.05$). 그러나 조영제를 각각 20%, 30% 감소하고 생리식염수를 추가 주입한 C, D 그룹은 A 그룹에 비하여 조영 증강의 정도가 낮게 나타났다($p < 0.05$). 그리고 조영제에 의한 빔 경화 인공물의 평가를 시행한 결과, 생리식염수를 추가로 주입한 B, C, D 그룹의 인공물이 A 그룹에 비하여 상당히 감소하였다($p < 0.05$).

Table 2. SNR of target organs with between injection protocol

Target Organ	Study group				F-value	P-value
	A	B	C	D		
SVC	12.93 ± 4.97	12.95 ± 4.62	11.07 ± 4.15	9.40 ± 3.08	3.185	0.029
As-A	16.58 ± 6.48	15.58 ± 6.45	13.07 ± 4.79	13.27 ± 6.72	1.579	0.201
PA	15.92 ± 4.82	15.38 ± 4.25	11.38 ± 3.60	13.09 ± 4.68	4.630	0.005
Ds-A	16.82 ± 5.58	16.22 ± 4.85	13.93 ± 6.31	12.04 ± 4.73	3.207	0.028
RA	14.67 ± 5.19	12.44 ± 3.44	13.94 ± 5.19	11.20 ± 3.45	0.632	0.597
RV	15.64 ± 4.36	13.15 ± 4.17	11.30 ± 3.39	11.83 ± 4.04	4.658	0.005
LA	14.53 ± 4.60	15.10 ± 5.40	12.49 ± 4.90	11.60 ± 4.12	2.404	0.074
LV	14.21 ± 4.85	14.78 ± 4.38	11.44 ± 3.97	12.11 ± 4.39	2.672	0.043

SVC : Superior vena cava, As-A : Ascending Aorta, PA : Pulmonary artery, Ds-A : Descending Aorta, RA : Right atrium, RV : Right ventricle, LA : Left atrium, LV : Left ventricle

Table 3. CT number of target organs according to injection protocol

Target Organ	Study group				F-value	P-value
	A	B	C	D		
As-A	273.14 ± 70.75	281.86 ± 64.67	239.08 ± 57.69	195.05 ± 61.12	7.647	0.000
PA	256.97 ± 53.45	260.23 ± 63.66	197.85 ± 25.00	185.63 ± 54.37	11.565	0.000
Ds-A	274.81 ± 68.90	281.18 ± 64.54	234.84 ± 62.56	188.17 ± 54.94	9.309	0.000
RA	275.33 ± 82.39	248.23 ± 58.62	206.41 ± 41.10	182.65 ± 47.44	9.737	0.000
RV	255.08 ± 56.84	241.58 ± 45.86	199.50 ± 31.90	178.36 ± 38.36	13.101	0.000
LA	263.27 ± 74.60	274.31 ± 74.80	223.18 ± 55.82	190.59 ± 59.98	6.600	0.001
LV	253.08 ± 68.93	275.69 ± 71.93	227.06 ± 49.84	193.10 ± 63.43	6.136	0.001

As-A : Ascending Aorta, PA : Pulmonary artery, Ds-A : Descending Aorta, RA : Right atrium, RV : Right ventricle, LA : Left atrium, LV : Left ventricle

Table 4. CT number of target organs according to injection protocol

Target Organ	Study group				F-value	P-value
	A	B	C	D		
SV	1507.29 ± 844.63	650.61 ± 599.66	491.39 ± 370.03	327.85 ± 233.97	17.466	0.000
SVC	337.14 ± 109.76	303.58 ± 69.23	235.89 ± 56.00	195.53 ± 70.03	13.215	0.000

SV : Subclavian vein, SVC : Superior vena cava

Table 5. Subjective image quality according to study group

Image quality	Study group			
	A	B	C	D
Degree of enhancement	3.4 ± 0.6	3.5 ± 0.7	2.8 ± 0.5	2.5 ± 0.6
Beam-hardening artifacts	2.3 ± 1.2	3.2 ± 0.6	3.4 ± 0.6	3.9 ± 0.6

IV. DISCUSSION

본 연구는 흉부 CT검사를 시행하는 소아 환자에게 불필요한 조영제를 효과적으로 감소시키면서 화질을 최적화하는데 있다. 성인을 대상으로 시행한 선행연구들은 있었으나,^[16-17] 소아를 위한 연구는 충분하지 않았다. 그러므로 몸무게의 변화에 따라서 조영제와 생리식염수의 주입 속도 및 주입량 그리고 검사 지연시간을 자동으로 계산할 수 있는 생리학적인 모델의 엑셀 시트를 개발하여 적용함으로써 임상 근무자가 쉽게 적용할 수 있도록 조영제 주입에 관한 가이드라인을 제시하고자 하였다.

소아환자의 생리학적 특징에 따른 혈액순환의 차이와 심장 질환 등으로 인하여 복잡한 혈류 흐름

을 지니고 있다. 이러한 소아환자의 적절한 조영 증강 영상을 획득하기 위한 심장이나 흉부 CT 프로토콜은 시간 급속주입 기법(Timing bolus method), 수동 급속주입 추적기법(Manual bolus tracking method), 지연시간 고정 주입기법(Fixed time delay method) 등 다양하다.^[18] 보통 시간 급속주입 기법은 조영 증강의 최고 도달시간을 결정하기 위하여 사용되는데 조영제의 사용량과 방사선량 그리고 검사 시간을 증가시킨다. 그리고 수동 급속주입 추적기법은 불필요한 방사선량을 증가시키고, 생리식염수를 적절한 시간에 주입할 수 없으므로 인공물이 필연적으로 발생한다. 따라서 본 연구에서는 몸무게에 따른 조영제 용량과 적정 지연시간을 계산한 지연시간 고정 주입기법을 적용하

여 최적의 조영 증강 효과를 얻고자 하였다.

ESUR 가이드라인 중에서 소아 조영제 사용에 관한 지침에 따르면 신생아, 유아 및 어린이에서 조영제를 사용할 때 안전 고려 사항은 성인과 유사하지만 동일하지 않고, 조영제의 주입량은 환자의 나이와 체중에 맞게 조정하도록 권고하고 있다.^[19] 일반적으로 유아나 신생아 같은 소아환자의 조영제의 주입량은 1 kg당 1.5 ~ 2.0배이다.^[12] 특정한 목적 장기의 혈관상이나 중재적 시술 특히 심장의 혈관을 관찰하기 위해서는 더 높은 용량과 농도의 조영제를 사용한다.^[20] 본 연구의 대상은 흉부 CT를 시행하는 만 10세 이하, 몸무게 30 kg 미만의 소아환자로서 조영제 주입량을 매우 신중하게 조절할 필요가 있었다. 조영제의 최대 주입량은 타 연구에서 권고하는 최소용량인 1 kg당 1.5배로 설정하였고, 10% 간격으로 단계적으로 주의 깊게 감소시켰다. 그리고 화질의 변화를 일으키지 않으면서 조영제를 최대로 감소할 수 있는 구간을 파악하고자 하였다. 결과적으로 조영제를 10% 감소하고 생리식염수를 주입한 그룹은 화질의 차이가 없었으나, 20% 이상 감소시킨 그룹은 대부분의 장기에서 CT number와 SNR이 낮게 측정되어 조영 증강 효과가 현저히 저하되었다.

CT 검사에서 조영제의 주입량은 농도와 요오드의 전달에 의존한다. 즉 신체 내에 단일 시간 동안 많은 요오드의 전달은 높은 조영 증강을 가져온다. 그러나 소아환자의 빈약한 혈관 상태로 인하여 조영제의 급속한 주입은 혈관 부상 및 돌출 위험 등 주입 부위의 합병증 발생 가능성을 배제할 수 없다. 소아 환자의 조영제의 혈관 외 유출은 심각한 결과를 초래할 수 있으므로 검사자는 조영제 투여 과정에서 신생아 및 영아의 주입 부위에 세심한 주의를 기울여야 한다. 소아환자의 조영제의 혈관 외 유출은 성인 인구의 유출과 비슷한 것으로 보인다. 요오드 조영제를 투여하기 위해 자동 주입기를 사용한 554명의 아동을 대상으로 한 연구에서 0.3%의 혈관 외 유출이 입증되었다.^[21] 일반적으로 신생아와 유아 환자는 22 ~ 24 게이지의 소형 혈관 도관이 사용되고, 22 게이지의 도관은 최대 2.5 ml/sec 이하, 24 게이지의 소형 도관은 1.0 ml/sec 이하의

속도로 제한된다.^[13] 따라서 소아 환자의 빈약한 혈관으로 인한 루트 확보의 어려움과 비정상적인 혈관 접근 등으로 인하여, 조영제 주입 속도는 적절한 조절은 반드시 필요하다. 본 연구에서는 안전한 조영제 주입을 위하여 몸무게를 반영한 0.057 ml/sec/kg의 공식으로 주입 속도를 계산하였으며, 0.5 ~ 1.7 ml/sec의 범위에서 조절하였다.

일상적인 흉부 CT에서 조영제를 사용하는 목적은 상 복부 장기를 포함하여 흉부 심혈관의 적절한 조영 증강을 획득하기 위함이다. 주로 폐동맥을 잘 관찰하기 위한 동맥기의 영상을 필요로 한다.^[16] 따라서 최적의 조영 증강을 위하여 적절한 시기에 스캔하는 것이 매우 중요하다. 더욱이 소아 환자들은 생후 6개월 동안 체중이 두 배로 증가하고, 생후 1년 동안 3배로 증가하게 된다. 소아는 높은 신진 대사 활동을 위하여 일반적으로 성인에 비하여 두 배의 에너지와 산소가 필요하고 더 높은 심박수가 관찰된다.^[22] 즉 소아 환자는 신체 발육이 급격하게 변화하고 심혈관 순환 시간이 매우 빠르기 때문에 주입 기간과 지연시간을 적절하게 보상되어야 한다. 적절한 조영제 주입 기간은 긴 시간의 스캔에서 영상을 획득하기 유리하지만, 너무 지나친 조영제 주입은 조직의 과도한 조영증강이나 불필요한 정맥기의 영상에 따른 판독 오류로 인하여 불만족스러운 결과를 낳을 수 있다. 따라서 조영제와 생리식염수 주입 시작 후에 검사 지연시간을 35 sec 이내로 종료할 수 있도록 설정하였다.

일반적으로 소아는 대부분 100 kV 이하의 저관전압을 사용한다.^[23] 저관전압의 적용은 조영제의 양을 줄이면서 혈관이나 조직의 CT number를 높여주어 저대도도 분해능을 향상시킬 수 있다.^[24] 하지만 저관전압의 적용은 빔 경화 인공물을 많이 발생시킬 수 있다.^[25] 본 논문에서 20 kg 미만의 소아 환자는 관전압은 80 kV, 그리고 20 kg 이상의 환자는 100 kV를 사용하여 인공물의 발생 소지가 매우 높았다. 특히 쇄골하정맥과 상대정맥에서 발생하는 강한 인공물은 가능한 피해야 한다. Fukuyama 등의^[14] 선행연구에서 생리식염수의 투여는 흉부 CT에서 상대정맥과 쇄골하정맥에서 조영제에 의한 빔 경화 인공물을 감소시킬 수 있다고 언급하였다. 또

한 생리식염수의 주입은 조영 증강의 정도와 효율을 증가시키고 분산을 감소시킬 수 있다.^[15] 본 연구에서는 자동 주입기 도관에 잔류되어 있는 5 ml의 조영제와 팔의 정맥 내 주입된 5 ml 가량의 조영제를 생리식염수 5 ~ 15 ml로 최대한 밀어주어 조영 증강의 분산과 조영제 낭비를 방지할 수 있었다. 결과적으로 조영제만 주입한 그룹에 비하여 생리식염수를 추가로 주입한 B, C, D그룹의 상대정맥 CT number가 각각 9.95, 30.03, 42.00% 더 낮게 나타났다. 그리고 쇄골하정맥의 CT number는 B, C, D그룹이 각각 56.84, 67.40, 78.25% 더 낮게 측정되었다. 특히 조영제를 10% 감소한 그룹의 SNR과 CT number는 모든 장기에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 조영제에 의한 빔 경화 인공물에 대한 정성적 영상 품질 평가에서도 생리식염수를 투여한 그룹이 더 우수한 결과를 보였다. 이외 혈관 내 도관에 잔류되어 있는 5 ~ 10 ml의 조영제를 배출시켜 도관의 막힘을 방지할 수 있는 장점이 있다.

CT검사의 관련 종사자는 소아환자에게 조영제를 사용할 경우, 조영제와 생리식염수의 주입량과 주입 기간 및 속도 그리고 스캔 지연시간 등 다양한 요인이 조영 증강에 영향을 미칠 수 있다는 사실을 고려하여야 한다. 이러한 인자는 환자 개개인의 특성과 정맥 접근의 위치, 종류, 그리고 CT 장비의 시스템에 따라서 다르게 적용되어야 한다.^[6,15,16] 일선 병원에서는 목적하는 검사 부위 및 몸무게에 따라서 조영제 주입 조건을 달리하고 있다. 이외 정맥주사 상대나 위치, 경험적 지식 등에 따라 다르게 적용하고 있다. 병원마다 소아의 조영제 사용에 관한 지침이 매우 상이하므로 진단적 목적에 맞는 조영 증강의 정도를 획득하기 위해선 조영제 주입에 관한 표준 프로토콜을 정립할 필요가 있다.

V. CONCLUSION

소아 흉부 CT 검사 시, 몸무게에 변화와 생리식염수를 반영한 조영제 주입 프로토콜의 적용은 인공물을 감소시키고 불필요한 조영제 사용을 예방하면서 조영 증강의 효과는 향상시킬 수 있었다. 따라서 생리학적인 조영제 주입 프로토콜은 소아의

흉부 CT 검사에서 조영 증강을 최적화할 수 있는 매우 유용한 방법이라 사료된다.

Reference

- [1] D. Brenner, C. Elliston, E. Hall, W. Berdon, "Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT," *American Journal of roentgenology*, Vol. 176, No. 2, pp. 289-296, 2001.
- [2] M. A. Bittles, M. K. Sidhu, R. W. Sze, L. S. Finn, V. Ghioni, J. A. Perkins, "Multidetector CT angiography of pediatric vascular malformations and hemangiomas: utility of 3-D reformatting in differential diagnosis," *Pediatric radiology* Vol. 35, No. 11, pp. 1100-1106, 2005.
- [3] A. Cunqueiro, A. Durango, D. M. Fein, K. Ye, M. H. Scheinfeld, "Diagnostic yield of head CT in pediatric emergency department patients with acute psychosis or hallucinations," *Pediatric radiology*, Vol. 49, No. 2, pp. 240-244, 2019.
- [4] American College of Radiology(2017), "Manual on Contrast Media," <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Contrast-Manual/>. Accessed 09 Aug 2018.
- [5] European Society of Urogenital Radiology(2019), "Guidelines on Contrast Media," <http://www.esur.org/guidelines/>. Accessed March 2018
- [6] K. T. Bae, "Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches," *Radiology*, Vol. 256, No. 1, pp. 32-61, 2010.
- [7] M. Riccabona, "Contrast media use in pediatrics: safety issues," *Contrast Media: Springer*, Vol. 1, No. 1, pp. 245-253, 2014.
- [8] 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.
- [9] L. Cao, X. Du, P. Li, Z. Sun, Q. Zhang, K. Li, "Optimization of contrast medium protocol in CT coronary arteriography: constant injection dose rate adapted to body weight," *Acta Radiologica*, Vol. 52, No. 6, pp. 608-612, 2011.
- [10] A. J. George, N. E. Manghat, M. C. 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. 1314e1-e9, 2016.
- [11] A. Tschugunow, M. Puesken, K. U. Juergens, F. Beyer, B. Buerke, H. Seifarth, "Optimization of scan delay for routine abdominal 64-slice CT with body weight-adapted application of contrast material," *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, Vol. 181, No. 7, pp. 683-690, 2009.
- [12] 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.
- [13] 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* V. 202, No. 4, pp. 872-879, 2014.
- [14] N. Fukuyama, A. Kurata, N. Kawaguchi, R. Tashiro, T. Higaki, T. Yokoi, "Two-Phase Contrast Injection Protocol for Pediatric Cardiac Computed Tomography in Children with Congenital Heart Disease," *Pediatric Cardiology*, Vol. 39, No. 3, pp. 518-525, 2018.
- [15] G. D. Rubin, M. J. Lane, D. A. Bloch, A. N. Leung, P. Stark, "Optimization of thoracic spiral CT: effects of iodinated contrast medium concentration," *Radiology*, Vol. 201, No. 3, pp. 785-791, 1996.
- [16] K. T. Bae, "Optimization of contrast enhancement in thoracic MDCT," *Radiologic Clinics*, Vol. 48, No. 1, pp. 9-29, 2010.
- [17] P. Haage, T. Schmitz-Rode, D. Hubner, W. Piroth, R. W. Gunther, "Reduction of contrast material dose and artifacts by a saline flush using a double power injector in helical CT of the thorax," *American journal of roentgenology*, Vol. 174, No. 4, pp. 1049-1053, 2000.
- [18] B. K. Han, C. K. Rigsby, A. Hlavacek, J. Leipsic, E. D. Nicol, M. J. Siegel, "Computed Tomography Imaging in Patients with Congenital Heart Disease Part I: Rationale and Utility. An Expert Consensus Document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT): Endorsed by the Society of Pediatric Radiology (SPR) and the North American Society of Cardiac Imaging (NASCI)," *J. Cardiovascular Computid Tomography*, Vol. 9, No. 6, pp. 475-492, 2015.
- [19] H. S. Thomsen, "European Society of Urogenital Radiology (ESUR) guidelines on the safe use of iodinated contrast media," *European journal of radiology*, Vol. 60, No. 3, pp. 307-313, 2006.
- [20] E. Sorantin, S. Weissensteiner, G. Hasenburger, M. Riccabona, "CT in children--dose protection and general considerations when planning a CT in a child," *European journal of radiology*, Vol. 82, No. 7, pp. 1043-1049, 2013.
- [21] J. G. Amaral, J. Traubici, G. BenDavid, G. Reintamm, A. Daneman, "Safety of power injector use in children as measured by incidence of extravasation," *American journal of roentgenology*, Vol. 187, No. 2, pp. 580-583, 2006.
- [22] E. Sorantin, H. Coradello, M. Wiltgen, "Computer-assisted mechanical ventilation of newborn infants," *Der Anaesthesist*, Vol. 41, No. 6, pp. 342-345, 1992.
- [23] M. Li, S. Feng, N. Wu, L. Zhang, "Scout-Based Automated Tube Potential Selection Technique (kV Assist) in Enhanced Chest Computed Tomography: Effects on Radiation Exposure and Image Quality," *Journal of computer assisted tomography*, Vol. 41, No. 3, pp. 442-445, 2017.
- [24] L. Yu, M. R. Bruesewitz, K. B. Thomas, J. G. Fletcher, J. M. Kofler, C. H. McCollough, "Optimal tube potential for radiation dose reduction in pediatric CT: principles, clinical implementations, and pitfalls," *Radiographics*, Vol. 31, No. 3, pp. 835-848, 2011.
- [25] D. Hu, T. Yu, X. Duan, Y. Peng, R. Zhai, "Determination of the optimal energy level in spectral CT imaging for displaying abdominal vessels in pediatric patients," *European journal of radiology* Vol. 83, No. 3, pp. 589-594, 2014.

소아 흉부 CT검사에서 조영제 주입에 관한 프로토콜의 최적화

김영균,¹ 김연민^{2,*}

¹삼성서울병원 영상의학과

²원광보건대학교 방사선과

요 약

본 논문의 목적은 흉부 CT검사를 시행하는 소아환자의 조영제 투여를 최소화하고 조영 증강은 최적화하기 위하여, 몸무게의 변화에 따른 생리학적 주입 프로토콜을 정립하는 것이다. 만 10세 이하의 소아환자 80명을 대상으로 연구하였다. 혈관 조영제 300 mgI/ml를 사용하였으며, A그룹은 몸무게 1.5배의 용량을 주입하였고, B, C, D 그룹은 10%씩 감소하면서 생리식염수 5 ~ 15 ml를 추가 주입하였다. 조영제와 생리식염수의 주입량과 속도 및 지연시간을 몸무게와 연동하여 계산할 수 있는 생리학적 모델의 엑셀시트를 적용하였다. 화질평가는 상대정맥, 상행대동맥, 폐동맥, 우심방, 우심실, 좌심방, 좌심실, 하행대동맥, 쇄골하정맥의 CT number와 SNR을 측정하여 그룹간 비교하였으며, 생리식염수 주입에 따른 인공물 감소효과를 파악하기 위하여 쇄골하정맥과 상대정맥의 CT number를 비교하였다. 또한 조영 증강의 정도와 인공물에 대하여 정성적 평가를 추가로 수행하였다. 조영제 주입 프로토콜에 따른 SNR을 비교 평가한 결과, 상대정맥과 폐동맥, 하행대동맥, 우심실, 좌심실에서 유의한 차이를 보였으며, CT number는 모든 장기에서 유의한 차이를 보였다. 특히 조영제를 10% 감소하고 생리식염수를 추가 주입한 그룹은 조영 증강 정도는 차이가 없었으나, 20% 이상 감소한 그룹은 조영 증강의 정도가 낮게 나타났다. 또한 생리식염수 주입한 그룹은 상대정맥과 쇄골하정맥의 조영 증강이 매우 감소되었고, 조영제에 의한 빔 경화 인공물이 상당히 감소되었다. 결론적으로 소아의 흉부 CT 검사에서 생리학적 조영제 주입 프로토콜의 적용은 조영제에 의한 인공물을 감소시키면서, 불필요한 조영제 사용을 예방하고 조영 증강의 효과는 향상시킬 수 있었다.

중심단어: 소아 흉부 CT, 조영 증강, 주입 프로토콜 최적화, 생리식염수 주입

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김영균	삼성서울병원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	김연민	원광보건대학교 방사선과	교수