

Optimization of the Empirical Method to the Enhancement Image of the Four Chambers at the Same Time in the Pediatric Cardiac Computed Tomography

Chanhyuk Park*, Jaeseung Lee**, Inchul Im**

*Department of Radiology, Pusan National University Yangsan Hospital**,
*Department of Radiological Science, Dongeui University***

소아 심장 전산화단층촬영 검사에서 4 chamber의 동시 조영증강 영상에 대한 최적화 방안

박찬혁*, 이재승**, 임인철**

양산부산대학교병원 영상의학과*, 동의대학교 방사선학과**

Abstract

This study is to have dose reduction and minimization of excessive use of contrast medium in the pediatric cardiac computed tomography and to suggest the optimization plan to acquire the enhancement image of the 4 chambers at the same time by formulating scan delay time in empirical method with considering variables such as contrast medium injection velocity and cardiac approaching time. Quantitative, qualitative and dose assessment were carried out for 30 pediatric patients who had taken the cardiac examination. In conclusion, image enhancement in 4 chambers of the cardiac shows over 300 HU which is proper to pediatric cardiac reading by applying the empirical method with calculating scan delay time according to weight and contrast medium volume and injection velocity. Qualitative image assessments in confidence sharpness and noise have excellence qualitatively. Exposure dose to pediatrics also decreases precisely. Therefore this study is judged to take a important role of making optimization images with advantages of dose reduction and less side effects caused by it's excessive use in clinic.

Key Words : Contrast medium(CM), Cardiac CT angiography(CTA), Empirical method, Radiation exposure

요 약

본 연구는 소아 심장 전산화단층촬영 검사에서 조영제의 과다 사용을 최소화하며 피폭 선량 저감화를 목적으로 조영제의 주입속도 및 심장 도달 시간 등의 변수를 고려한 스캔 지연 시간을 경험론적 방법으로 수식화함으로써 4개의 심방과 심실이 동시 조영증강 영상을 획득할 수 있는 최적화 방안을 제시하고자 하였다. 소아 심장전산화단층 검사를 시행한 소아 환자 30명을 대상으로 정성적 평가, 정량적 평가, 선량평가를 실시하였다. 결론적으로 본 연구에서 개발한 체중에 따른 조영제 양과 주입속도에 따른 스캔 지연 시간을 계산하는 경험론적 방법을 적용함으로써 원·오른 심방과

심실의 동시 조영증강에서 소아 심장 판독에 적합한 300 HU 값 이상으로 나타났고 명확성, 선예도, 노이즈에 대한 정성적 영상 평가에서 질적 우수성을 보였으며 선량평가에서도 소아가 받는 피폭선량도 명확하게 감소되었다. 따라서 본 연구는 임상에서 조영제 과다 사용으로 인한 부작용 감소 효과를 기대 할 수 있었으며 방사선 피폭 저감화를 기대 할 수 있는 이점을 가지고 최적의 영상을 만드는데 중요한 역할을 할 것으로 판단되었다.

중심단어: 조영제, 심장전산화단층촬영, 경험론적 방법, 방사선피폭

I. INTRODUCTION

소아 심장 질환은 임신 중 모체의 감염 및 약물 복용과 염색체 이상 등 다양한 원인으로 심장의 구조적 또는 기능적 이상이 발생하는 선천성 심장병과 대표적으로 심장 내 판막이나 심장의 혈액을 공급하는 관상동맥에 병변이 있거나 심장 근육 자체에 병이 발생하는 심근증의 후천성 심장병으로 구분할 수 있다^{[1],[2]}. 이러한 소아 심장 질환을 감별하기 위한 다중 검출기 전산화단층촬영(multi detector computed tomography, MDCT) 검사는 대부분 심장의 형태적·기능적 검사를 목적으로 하고 있으며 최근 심장 또는 혈관 조영에 대한 비약적인 발전을 거듭한 결과 진단적 질향 감별률의 증가와 더불어 신뢰성이 입증되고 있다^[3]. 특히 이중에너지 다 검출기 전산화단층촬영의 주사시간(scan time) 및 측정분해능의 단축은 성인보다 빠른 심박동을 가진 소아의 3차원 심장전산화단층촬영(3-dimension cardiac CT angiography, 3D Cardiac CTA) 검사에서 움직임(artifact)에 의한 허상에 대한 문제를 최소화 할 수 있었다. 뿐만 아니라 심장과 큰 혈관 및 그 외 혈관구조와 인접한 흉곽 내(intrathoracic)의 구조물에 대한 향상된 영상 묘사 면에서도 우수하다. 향상된 전산화단층촬영 장치로 획득된 영상을 기반으로 삼차원적으로 재구성된 영상은 선천성 심장질환의 진단에 매우 유용하게 이용되고 있다. 또한 우수한 심혈관조영전산화단층촬영을 소아촬영에 대한 기술적인 측면에 관심을 가지고 검사에 어려움을 최소화하기 위해 R. A. Cohen 등은 소아 CTA에 어려운 문제들을 솔루션과 고유의 문제를 제공 발표 할 예정이며 특정 소아 응용 프로그램의 문헌 검토가 제공되어야 한다고 말하고 있다^[4]. 빠른 속도로 나아가고 있는 소아 3D CTA 검사는 이러한 심장질환에 대한 유용성을 대변한다. 그러나 소아 CTA 검사는 성인 CTA 검사와 비교해 볼 때 제한적 고려사항이 있다. 우선 적절한 조영제 양

(contrast media volume)의 선택이다. 소아는 성장기에 있고 몸무게가 작으므로 몸무게에 따른 정확한 조영제 양을 사용하여야만 한다. 그리고 이 조영제 양을 최적화된 주입속도로 주입하지 않으면 검사시기가 너무 빠르거나 또는 너무 느리게 된다. 다른 변수로는 정맥주사 위치에 따라라도 심장까지 조영제 도달 시간이 달라지게 된다. 그리고 정맥주사 지점부터 조영제 자동주입기(autoinjector) 사이에 연결 관(connection tube)으로 연결 되어 있는데 이 관(tube)안의 용적 또한 계산하여야 적절한 검사시기를 결정 할 수 있으며 이에 최적화된 조영증강 영상을 획득 할 수 있다. 임상에서는 3가지의 조영제 주입하는 방법을 이용한다. 이는 bolus-tracking method, Test bolus method 그리고 경험론적 방법(empirical method)으로 각 병원마다 다른 방법을 채택하고 있다. test bolus method는 적은 체중의 소아에게 과다한 조영제 사용 및 검사의 번거로움과 소아의 특성상 검사 시간의 증가로 채택하기 어려운 방법으로 주로 bolus-tracking method를 이용하는 프로토콜(protocol)이 보편적이었으나 같은 파라메타(parameter)를 사용하는 검사에서 피폭선량의 현저한 증가 및 주입속도와 인체의 순환(circulation)과정에 따른 조영제의 과다투입 가능성 등을 이유로 주로 경험론적 방법으로 시행하고 있다. 그러나 경험론적 방법에서는 체계적인 프로토콜 없이 주사하여 촬영을 하고 있는 실정이다. 특히 조영제 주입 속도에 따른 인체의 혈류 기전이 불합리한 경우 보고자 하는 심장영상에 조영제가 맺히는 영상을 볼 수 없어 진단에 어려움이 생기며 그로 인해 불필요한 스캔을 많이 하여 방사선피폭이 증가되는 현상이 생기기도 한다.

따라서 본 연구는 소아 심장 전산화단층촬영 검사에서 조영제의 과다 사용을 최소화하며 피폭 선량 저감화를 목적으로 조영제의 주입속도 및 심장 도달 시간 등의 변수를 고려한 스캔 지연 시간을 경험론적 방법으로 수식화함으로써 4개의 심방과 심실이 동시 조

영증강 영상을 획득할 수 있는 최적화 방안을 제시하고자 하였다.

II. MATERIALS AND METHOD

1. 연구 대상

본 연구는 2013년 1월 1일부터 6월 30일까지 경남 소재 P 대학교 병원 CT실에 내원한 환자 중 소아 CTA 검사를 시행한 환자 30명을 대상으로 하였다. 실험장비로는 MDCT 128 channel dual source: Somatom Definition Flash (Siemens medical system, Germany)를 사용하였고 조영증강을 위해 dual flow injector (Stellant, Medrad Inc., USA), Disposable Syringe (200 mL, Stellant, Medrad Inc., USA), Low Pressure Connecting Tube(3 mL, Stellant, Medrad Inc., USA)를 사용하였다(단, 조영제는 350 mgI/mL와 370 mgI/mL를 구분하지 않았다).

2. 영상 획득 및 조영제 주입

소아 심장 전산화단층촬영 검사를 위하여 폐첨부(apex)에서 횡경막(diaphragm)까지 스캔 범위를 설정하고 Table 1에 제시된 파라메타를 이용하여 영상을 획득하였다.

조영제 주입 전 하지 정맥에 24게이지 혈관조영용 카테터(BD Angiocath Plus, Becton Dickinson Medical, Singapore)를 정맥 주사(intravenous. I.V)하고 움직임 인공물을 줄이기 위해 미다졸람 하이드로클로라이드((midazolam hydrochloride)를 정맥주입 하거나 클로랄 하이드레이트(chloral hydrate)를 경구 투여하여 환자를 진정시켰다. 체중에 따른 조영제의 주입 속도는 임상적으로 사용되는 Test bolus method 또는 bolus-tracking method와 비교하여 환자에 따른 특성을 고려함으로써 피폭 선량 경감 및 조영제의 과다 투입 가능성을 현저하게 감소시킬 수 있는 경험론적 방법을 사용하여 시행되었다. 본 연구에서 적용된 체중에 따른 조영제의 주입 속도는 소아 심장 검사 환자 및 전산화단층촬영 장치와 조영제 자동주입기의 특성을 고려하여 Table 2에 제시하였다.

Table 1. Parameter for cardiac CT

High pitch cardiac scan parameters	Condition
Effective tube current (mAs)	100
Tube voltage (kVp)	80
Slice thickness (mm)	1
Reconstruction increment (mm)	0.5
Rotation time (sec)	0.28
Pitch	3.4

Table 2. The injection velocity and access time to the reached the cardiac of the contrast medium (CM) according to the patients weight by using the empirical method in this study

Weight (kg)	Injection velocity* (mL/sec)	Cardiac access time* (sec)
10 below	0.5	10
10 - 20 below	1.5	4
20 above	2.0	3

*, This determination by using the clinically empirical method

본 연구에서 스캔 지연 시간(scan delay time)은 경험론적 방법에 의해 계산된 수식 (1)과 같이 수행되었다. 전체 조영제 양(total injection volume)은 단위 체중 당 2 mL(2 mL/kg)로 설정하였으며 연결 관에 잔류된 조영제를 saline pushing하기 위하여 3 mL(connection tube volume)의 saline 용량을 추가 주입하였다. 조영제의 주입 속도는 Table 2에 제시된 경험론적 방법을 토대로 초당 주입 속도(second per injection velocity)를 결정하였다. 또한 최초의 정맥 주사 후 심장까지 도달하여 조영제가 4개의 심방과 심실에 조영되는 시간(cardiac enhancement time)을 경험론적 방법으로 Table 2에 제시하였다.

$$\frac{\text{Total injection volume} + \text{connection tube volume}}{\text{Second per injection velocity}} + \frac{\text{Cardiac enhancement time}}{\text{time}} \dots (1)$$

예를 들면, 체중이 6 kg인 소아 환자의 경우 주어진 식(1)에 의하여 계산된 스캔 지연 시간은 전체 조영제 양이 $6 \text{ kg} \times 2 \text{ mL/kg} = 12 \text{ mL}$ 이고, 10 kg 미만의 경우

Table 2에서 제시한 조영제 주입 속도와 심장의 조영제 도달 시간은 각각 0.5 mL/sec와 10 sec이므로 다음 식(2)와 같이 계산될 수 있다.

$$\frac{12 \text{ mL} + 3 \text{ mL}}{0.5 \text{ mL/sec}} + 10 \text{ sec} = 40 \text{ sec} \dots\dots\dots (2)$$

따라서 6kg인 소아 심장 검사에서 심장 내 4개의 심방과 심실에 조영제가 도달하여 조영증강을 나타내는 스캔 지연 시간은 40초 일 때 최적화됨을 알 수 있다.

3. 영상 및 선량 평가

소아의 심장 전산화단층촬영 검사에서 경험론적 방법에 의한 스캔 지연 시간에 대한 평가는 정량적 및 정성적으로 구분하여 평가하였다. 정량적 평가 방법은 오른 심방 및 심실(Right atrium and ventricle, RA, RV), 왼 심방 및 심실(Left atrium and ventricle, LA, LV)이 모두 보이는 횡단면에서 Fig. 1과 같이 25 mm 크기의 원형 관심영역(region of interest)을 설정하여 왼·오른 심방 및 심실에 대한 하운스필드 값(Hounsfield unit, HU)을 측정하여 평균 및 표준편차를 구하였다. 이때 조영증강이 나타나지 않는 각 심방과 심실에 대한 HU 값보다 클 때 조영증강 영상으로 판단하였다(>43~48 HU). 정성적 평가 방법은 유럽의 영상 질 평가 점수(European image quality assessment score)^{[5],[6]}를 이용하여 영상의학과 심장 판독 전문의 2명과 CT 전문 방사선사 2명이 평가하였으며 객관적 평가를 위하여 판독 모니터의 해상도 및 윈도우 셋은 동일한 조건으로 하였다. 영상에 대한 정성적 평가는 왼·오른 심방과 심실에서 명확성, 선예도, 노이즈에 대하여 시행되었으며 평가항목은 Table 3에 제시하였다.



Fig. 1. Quantitative evaluation method for the cardiac enhancement image were used Hounsfield unit (HU) values of the region of interest (ROI).

Table 3. The qualitative assessment for the cardiac enhancement imaging by using the European image quality assessment score.

Evaluation items	Scores
Definitude	
Fully confident	1
Probably confident	2
Confident under limited conditions for visualization	3
Unacceptable	4
Sharpness	
Very sharp	1
Questionable	2
Noticeable slice thickening	3
Noise	
Less than usual	1
Optimal noise	2
Noise affecting interpretation	3

또한 선량 평가는 본 연구에서 사용된 경험론적 방법에 대한 비교를 위하여 대조군으로써 과거 bolus-tracking method 또는 Test bolus method 방법으로 조영제를 주입하여 소아 심장 전산화단층촬영 검사를 시행한 46명(bolus-tracking method: 24명, Test bolus method: 22명)을 후향적으로 분석하였다. 대조군의 성별, 연령 및 체중 등은 본 연구 대상과 유사하게 임의 선정하였으며 영상 획득은 동일한 스캔 파라메타를 적용하였다. 선량 평가 방법은 CT 스캔 콘솔 모니터에 표출된 선량지표인 CTDIvol과 DLP를 기준으로 하였다.

Ⅲ. RESULT

Table 4는 주어진 식(1)에 의해 경험론적 방법으로 계산된 스캔 지연 시간을 적용하여 오른 심방 및 심실, 왼 심방 및 심실에서 측정된 조영증강 소아 심장 영상의 하운스필드 값을 보여준다. 소아 심장 영상의 조영증강되지 않은 하운스필드 값이 43 HU 내지 48 HU이고 조영증강이 시작 또는 종료되는 시점에서 약 200 HU를 감안할 때 200 HU 이상을 조영증강 영상으로 분석한 본 연구 방법은 타당하다고 판단하였다.

Table 4. Results for the quantity evaluation of the cardiac enhancement imaging by using the empirical method.

Measuring site	HU value			p-value*
	Max	Min	Avg. ±SD	
Right atrium	549	353	442.8±27.4	0.034
Right ventricle	562	381	480.9±16.7	0.018
Left atrium	577	370	454.3±12.8	0.014
Left ventricle	568	359	464.2±14.9	0.016

*, were statistically significant at the p<0.05 by using the one sample t-test.
HU: Hounsfield unit.

경험론적 방법으로 소아 심장 조영증강 영상을 획득한 30명의 대상자들은 영상의학적 소견을 명확하게 구분할 수 있는 수준의 약 400 HU 이상으로 분석되었으며 좌·우측 심실이 심방보다 조영증강이 근소하게 증가되어 나타났다. 특히 전체 대상자의 약 5% 수준에서 발생하는 최소 조영증강이 350 HU 이상으로 나타나 소아 심장의 임상적 이상 소견을 판단할 수 있는 최적화된 스캔 지연 시간으로 나타났다.

Table 5은 주어진 식(1)에 의해 경험론적 방법으로 계산된 스캔 지연 시간을 적용하여 검사한 30명의 소아 심장 조영증강 영상에 대하여 4명의 판독자(심장 판독 전문의: 2명, CT 전문 방사선사: 2명)가 유럽의 영상 질 평가 점수를 기준으로 부여한 결과를 보여준다. 소아 심장 조영 영상의 명확성 평가는 대상자의 24명(80%)에 대하여 명확성이 우수하거나 소아 심장 질환 판독하는데 별 문제가 없다고 하였으며 선예도 평가는 전체 대상자에서 27명(90%)에 대하여 선예도가 높고 소아 심장 질환 판독에 별 문제가 없다고 하였다.

그러나 노이즈에 대한 평가에서 기존의 소아 심장 검사와 비교하여 10%는 노이즈가 감소하는 것으로 판단하였으며 22명(73.33%)은 유사하거나 최적화 되었다고 판단하였고 약 17% 정도에서 노이즈가 약간 증가되었다고 평가하였다.

Table 5. Results for the qualitative assessment of the cardiac enhancement imaging by using the European image quality assessment score. (n=30)

Evaluation items	Scores	Distribution	
		Persons No.	Ratio (%)
Definitude			
Fully confident	1	16	53.33
Probably confident	2	8	26.67
QULCV	3	3	10.00
Unacceptable	4	3	10.00
Sharpness			
Very sharp	1	17	56.67
Questionable	2	10	33.33
Noticeable slice thickening	3	3	10.00
Noise			
Less than usual	1	3	10.00
Optimal noise	2	22	73.33
Noise affecting interpretation	3	5	16.67

Note) QULCV: Confident under limited conditions for visualization.

Fig. 2는 횡단면 영상을 획득하기 위한 동일한 스캔 파라미터를 적용하여 bolus-tracking method, test bolus method, 경험론적 방법에 의한 환자의 피폭선량을 총 DLP 값을 분석한 결과를 보여준다. 기존 소아 심장 조영증강 영상 검사인 bolus-tracking method와 test bolus method를 적용할 때 환자가 받는 총 피폭선량은 각각 12 mGy.cm, 10 mGy.cm 이었으나 본 연구에서 경험적 방법을 적용하여 소아 심장 조영증강 영상을 획득한 경우 총 피폭선량은 9 mGy.cm으로 bolus - tracking method와 비교하여 약 25%, test bolus method와 비교하여 약 10%의 피폭선량 감소를 보였다.

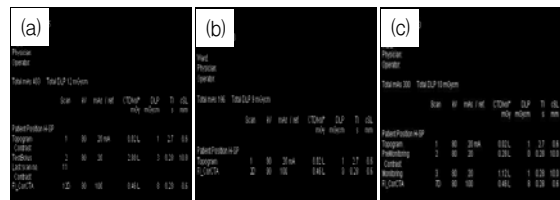


Fig. 2. Dose report of bolus-tracking method(a) test bolus method(b) and empirical method(c).

IV. DISCUSSION

현재 이중 선원 다중검출기 전산화단층촬영 장치의 주요 장점 중 하나는 심혈관 구조를 잘 묘사 할 수 있도록 측방분해능을 단축시켜 움직임을 최소화하여 검사 할 수 있다는 것이다. 이러한 신속한 검사는 과거 전산화단층촬영 영상과 비교 할 때 빠른 심박동을 가진 소아의 심장질환 묘사 측면에서 움직임에 대한 인공물 개선에 혁신적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 2008년부터 시행하고 있는 소아 3D CTA검사에서 ECG-gated를 시행했던 검사 중 심박동이 120회를 넘는 소아에 있어서 ECG-gated는 움직임 인공물을 감소시키기 위한 기법이지만 큰 의미를 부여하기 어려웠다. 그 이유는 선천성 심장 질환을 갖고 있는 소아의 ECG-gating은 아주 빠른 속도와 불규칙한 변화를 동반하고 있고 ECG-gated 때문에 선량이 증가할 수 있기 때문이다^[7]. 또한 조영제 주입을 하지 정맥에 한 이유는 주로 보고자 하는 부분 즉 폐동맥, 대동맥의 형태 학적인 영상이 위대정맥(superior vena cava, SVC)을 통해 들어가는 조영제로 인한 인공물 때문에 잘 표현이 되지 않기 때문이다. 이에 소아 CTA를 시행하는 경우라면 하지에 정맥주사를 제안한다. 체중 당 2 mL/kg의 조영제 사용은 선천성 소아 심장 질환 중 비교적 크기가 큰 심장 내/외 단락을 증세로 하거나 관막을 통한 혈액의 역류 혹은 위의 증세를 포함한 심장의 비대를 주요 증세로 나타나는 질환의 경우에는 체중 당 2 mL/kg의 조영제를 사용하는 것이 영상학적 진단가치에 도움이 된다^[8]. 이에 다른 저자들도 조영제 주입 비율 그리고 양은 환자의 체중에 따른 주입 프로토콜을 토대로 조절되어야 한다고 말하고 있다^{[9]-[11]}. 주입 속도의 결정부분에서는 본 연구팀이 처음 시도했던 체중에 관한 주입 속도는 더 세분화되어 5 kg미만의 소아에게 0.2 mL/sec와 0.3 mL/sec로 시행되었던 적이 있었으나 조영 증강이 되지 않는 경우도 있었다. 그러나 D. P. Frush 등은 24게이지의 혈관조영용 카테터를 유지하는 경우 1.5 mL/sec의 주입 속도를 제안했다^[12]. 본 연구팀은 이러한 시행착오 후에 체중에 따라 최소 0.5 mL/sec부터 1.5 mL/sec, 2 mL/sec까지 주입 속도를 제안하게 되었다. 또한 체중 당 2 mL의 조영제를 계산하여 주입하고 일회용 주사기를 빠져나온 조영제가

환자에게 주입되지 못하고 연결 관(connect tube)에 머물러 있는 것을 고려해 saline pushing을 충분히 하여 정확한 조영제 양이 혈관으로 들어 갈 수 있도록 이를 계산에 적용하게 되었다. 그 결과로 정량적 평가에서는 소아 심장 영상의 조영증강되지 않은 하우스필드 값이 43 HU 내지 48 HU이고 조영증강이 시작 또는 종료되는 시점에서 약 200 HU를 감안할 때 440 HU이상의 높은 조영증강 양상으로 판단 할 수 있었으며 정 성적 평가에서는 소아 심장 조영 영상의 명확성 평가에서 대상자의 24명(80%)에 대하여 명확성이 우수하게 나타났으며 선예도 평가 또한 전체 대상자에서 27명(90%)에 대하여 선예도도 높게 나타났다. 그러나 노이즈에 대한 평가에서 기존의 소아 심장 검사와 비교하여 10%는 노이즈가 감소하는 것으로 판단하였으며 22명(73.33%)은 유사하거나 최적화 되었다고 판단하였고 약 17% 정도에서 노이즈가 약간 증가되었다고 평가되었다. 이는 정 성적 평가에서 명확성은 우수한 것으로 확인 할 수 있었으나 선예도와 노이즈 측면에서는 영상에 영향을 미쳐 진단이 다소 어려운 영상이 몇몇 있었다. 이는 환자의 수술 후 인공물 혹은 조영제의 와류로 인한 조영제 주입시기와는 무관한 것이었다. 또한 선량 평가는 소아 심장 조영증강 영상 검사인 bolus-tracking method와 test bolus method을 적용할 때 환자가 받는 총 피폭선량은 각각 12 mGy.cm, 10 mGy.cm 이었으나 경험적 방법을 적용하여 소아 심장 조영증강 영상을 획득한 경우 총 피폭선량은 9 mGy.cm으로 bolus-tracking method와 비교하여 약 25%, test bolus method와 비교하여 약 10%의 피폭선량 감소를 보였다. 따라서 본 연구에서 제시한 경험론적인 방법이 선량 평가에서도 우수함을 알 수 있었다.

V. CONCLUSION

소아 심장 전산화단층촬영 검사에서 기존 bolus tracking method 또는 test bolus method 조영제 주입 방법은 소아 특성상 조영제의 과다 사용 가능성과 현저한 피폭선량의 증가 뿐 만 아니라 4개의 심방과 심실을 동시 조영증강 영상을 획득하는데 문제점이 제기되었다. 그러나 본 연구에서 개발한 체중에 따른 조영제 양과 주입속도에 따른 스캔 지연 시간을 계산하는

경험론적 방법을 적용함으로써 4개의 심방과 심실의 동시 조영증강과 소아 심장 관독에 적합한 300 HU 값 이상으로 나타났고 명확성, 선예도, 노이즈에 대한 정성적 영상 평가에서도 질적 우수성을 보였으며 소아가 받는 피폭선량도 명확하게 감소되었다. 따라서 본 연구는 임상에서 조영제 과다 사용을 방지하여 조영제 부작용 감소 효과를 기대 할 수 있었으며 방사선 피폭 저감화를 기대 할 수 있는 이점을 가지고 최적의 영상을 만드는데 중요한 역할을 할 것으로 판단되었다.

Acknowledgements

이 논문은 2014학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음.(과제번호 2014AA192)

Reference

- [1] M. Satpathy, "Clinical diagnosis of congenital heart disease", 1st edit., Jaypee Brothers Publishers Ltd., New Delhi, pp. 22-24, 2008.
- [2] P. Daubeney, M. Rigby, M. Gatzoulis, M. Niwa, "Pediatric heart disease: a clinical guide", 1st edit., John Wiley & Sons., Oxford, UK, pp. 142-145, 2012.
- [3] U. J. Schoepf, C. R. Becker, B. M. Ohnesorge, E. K. Yucel, "CT of Coronary Artery Disease", Radiology, Vol. 232, No. 1, pp. 18-37, 2004.
- [4] H. W. Goo, "State of the Art CT Imaging Techniques for Congenital Heart Disease", Korean J Radiol., Vol. 11, No. 1, pp.4-18, 2010.
- [5] M. J. Siegel, S. Bhalla, F. R. Gutierrez, et al., "MDCT of postoperative anatomy and complications in adults with cyanotic heart disease" AJR. Am. J. Roentgenol., Vol. 184, No. 1, pp. 241-247, 2005.
- [6] B. K. Han, J. Lindberg, K. Grant, R. S. Schwartz, J. R. Lesser, "Accuracy and safety of high pitch computed tomography imaging in young children with complex congenital heart disease", Am. J. Cardiol., Vol. 107, No. 10, pp. 1541-1546, 2011.
- [7] D. P. Frush, J. R. Herlong, "Pediatric thoracic CT angiography", Pediatr. Radiol., Vol. 35, No. 1, pp. 11-25, 2005.
- [8] P. Dawson, M. Blomley, "The value of mathematical modelling in understanding contrast enhancement in CT with particular reference to the detection of hypovascular liver metastases", Eur. J. Radiol., Vol. 41, No. 3, pp. 222-236, 2002.
- [9] K. T. Bae, "Peak contrast enhancement in CT and MR angiography: when does it occur and why? pharmacokinetic study in a porcine model", Radiology, Vol. 227, No. 3, pp.809-816, 2003.
- [10] S. T. Schindera, R. C. Nelson, L. Howle, E. Nichols, D. M. DeLong, E. M. Merkle, "Effect of varying injection rates of a saline chaser on aortic enhancement in CT angiography: phantom study", Eur. Radiol., Vol. 18, No. 8, pp. 1683-1689, 2008.
- [11] P. Dawson, M. Blomley, "The value of mathematical modelling in understanding contrast enhancement in CT with particular reference to the detection of hypovascular liver metastases", Eur J Radiol., Vol. 41, No. 3, pp. 222-236, 2002.
- [12] D. P. Frush, J. R. Herlong, "Pediatric thoracic CT angiography", Pediatr. Radiol., Vol. 35, No. 1, pp. 11-25, 2005.