

심장 CT 검사시 ASIR 적용에 따른 선량 평가

Radiation dose Assessment according to the Adaptive Statistical Iterative Reconstruction Technique of Cardiac Computed Tomography(CT)

장현철*, 김현주*, 조재환**

순천향대학교 부천병원 영상의학과*, 경산1대학 방사선과**

Hyun-Cheol Jang(jhc416@naver.com)*, Hyun-Ju Kim(gidoong75@naver.com)**,

Jae-Hwan Cho(8452404@hanmail.net)**

요약

심장 CT 검사시 적응식 통계적 반복 재구성법을 이용하여 체질량 지수에 따른 관전압 변화에 대한 방사선 피폭선량에 대하여 알아보려고 하였다. 심장 CT 검사를 시행 받은 환자를 BMI에 따른 관전압에 따라 네 개의 군으로 나누어[A군(n=20), Non-ASIR, BMI < 25, 100 kVp; B군(n=20), Non-ASIR, BMI > 25, 120 kVp; C군(n=20), 40% ASIR BMI < 25, 100 kVp; D군(n=20), 40% ASIR, BMI > 25, 120 kVp] 대동맥 중심부와 우관상동맥, 좌전하행동맥에 관심영역을 설정 한 후 CT값(number)측정하여 평균값과 표준편차를 분석하였다. 영상 잡음은 A군과 C군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, A군이 C군보다 노이즈가 유의하게 높았다(group A, 494 ± 32 HU; group C, 482 ± 48 HU: $P < 0.05$). 또한, B군과 D군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, B군이 D군보다 노이즈가 유의하게 높았다(group B, 510 ± 45 HU; group D, 480 ± 82 HU: $P < 0.05$). 영상의 정성적 분석에서 관상동맥 분절별로 임상평가 한 결과 평균값은 A군은 4.13 ± 0.2 , B군은 4.18 ± 0.1 , C군은 4.1 ± 0.2 , D군은 4.15 ± 0.1 로 A군, B군, C군, D군 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었으며($P > 0.05$), 모든 군에서 진단에 적절한 영상을 보였다. 피폭선량은 A군은 8.6 ± 0.9 , B군은 14.9 ± 0.4 , C군은 5.8 ± 0.5 , D군은 10.1 ± 0.6 mSv 로 나타났다.

■ 중심어 : | 적응식 통계적 반복 재구성법 | 체질량 지수 | 피폭선량 | 영상잡음 |

Abstract

To identify the effects of the application of the adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) technique in combination with the other two factors of body mass Index (BMI) and tube potential on radiation dose in cardiac CT. The patient receiving operation the cardiac CT examination was divided four groups into according to kVp.[A group(n=20), Non-ASIR, BMI < 25, 100 kVp; B group(n=20), Non-ASIR, BMI > 25, 120 kVp; C group(n=20), 40% ASIR BMI < 25, 100 kVp; D group(n=20), 40% ASIR, BMI > 25, 120 kVp] After setting up the region of interest in the main artery central part and right coronary artery and left anterior descending artery, the CT number was measured and an average and standard deviation were analyzed. There were A group and the difference which the image noise notes statistically between C. And A group was high so that the noise could note than C group (group A, 494 ± 32 HU; group C, 482 ± 48 HU: $P < 0.05$) In addition, there were B group and the difference noted statistically between D. And B group was high so that the noise could note than D group (group B, 510 ± 45 HU; group D, 480 ± 82 HU: $P < 0.05$). In the qualitative analysis of an image, there was no difference ($p > 0.05$) which a group, B group, C group, and D as to average, A group 4.13 ± 0.2 , B group 4.18 ± 0.1 , and C group 4.1 ± 0.2 and D group note statistically altogether with 4.15 ± 0.1 as a result of making the clinical evaluation according to the coronary artery segments. And the inappropriate image was shown to the diagnosis in all groups. As to the radiation dose, a group 8.6 ± 0.9 and B group 14.9 ± 0.4 and C group 5.8 ± 0.5 and D group are 10.1 ± 0.6 mSv.

■ keyword : | ASIR | BMI | Radiation dose | Image Noise |

I. 서론

심혈관계 질환은 오늘날 간과할 수 없는 우리 사회의 질병으로 대두되고 있다. 서구적인 식생활 및 스트레스, 운동부족 등으로 인해 위험성이 높아지고 있는 실정이며, 심각한 사회 문제로 나타나고 있다. 방송 매체등으로 인해 심장 질환에 많은 관심을 보이고 있으며, 병원을 방문하는 환자가 계속적으로 증가하고 있다. 최근 다중절편 방사선 단층촬영(Multidetector Computed Tomography, 이하 MDCT) 기술의 발달과 다양한 software의 개발로 관상동맥 CT 혈관조영술(Coronary artery CT angiography, 이하 CCTA)의 임상적용이 증대되고 있다[1]. 관상동맥 CT 혈관 조영술 뿐만 아니라 전체적인 CT 검사 건수의 증가는 전 세계적인 공중보건의 이슈가 되고 있으며, 앞으로도 이러한 경향은 지속될 것으로 보인다[2]. 이렇게 증가한 CT 검사 건수와 더불어 이로 인한 집단선량 기여도는 다년간 증가하고 있어, 방사선 노출에 대한 부담을 증가시키고 있다 [3]. 대부분 CT 검사에 있어서 공간분해능과 대조도분해능이 우수한 영상을 얻기 위해서는 선량이 증가하고 있는 경향이다. 특히, 관상 동맥과 같이 직경이 작은 혈관 평가를 위한 심장 CT 검사에서는 신호대 잡음비를 개선하기 위하여 높은 선량이 요구된다. 이에 최근에는 관전압을 낮추어 촬영하는 심장 CT 검사가 환자의 피폭선량을 낮출 수 있는 유용한 방법 중 하나로 대두하고 있다. Fuminari Tatsugami 등 [4]과 김윤경 등 [5]에 의해 환자의 체질량 지수 (Body mass index, 이하 BMI)에 맞추어 서로 다른 관전압을 적용하는 방법이 연구되었다. 최근의 CT 장치 제조사에서는 반복 재구성법(Iterative reconstruction ; 이하 IR)을 사용하여 화질을 유지 하면서 방사선 피폭을 감소 시킬수 있는 소프트웨어가 개발되고 있다. 반복 재구성 원리에 근거하여 선량을 줄이면서 진단적으로 가치가 있는 영상 획득할 수 있는 기술인 적응식 통계적 반복 재구성법(Adaptive statistical iterative reconstruction, 이하 ASIR)이 개발되었다.

ASIR법은 기존의 사용하던 영상재구성법의 응용으로 기본적인 역투영법(filtered back projection ; 이하

FBP)과 혼합한 응용기법이라 할 수 있다. 최근에는 ASIR기법을 적용한 영상의 진단적 평가가 가능해져 그 유용성에 대해 보고된 바 있다[6].

ASIR 기법을 이용한 체질량 지수에 따른 관전압 적용에 관한 관련된 연구는 없었기에 본 연구의 목적은 ASIR 기법을 이용한 체질량 지수와 관전압 변화에 따른 영상 평가 및 피폭선량을 알아보려고 하였다.

II. 대상 및 방법

2.1 연구 대상

2010년 4월부터 2010년 9월까지 건강 검진을 목적으로 심장 CT 검사를 내원한 80명의 성인을 대상으로 후향적 연구를 하였다. 연령분포는 36세에서 71세로 평균 연령은 53.9세 였다.

CT 검사 시 측정된 신장과 체중으로 체질량 지수를 계산하였으며, 체질량지수가 25 이하인 성인 40명, 체질량 지수가 25 이상인 성인 40명이었다[표 1].

표 1. 그룹별 연구대상자

Characteristics	Group A (n=20)	Group B (n=20)	Group C (n=20)	Group A (n=20)
	Non-ASIR, BMI<25 100 kVp	Non-ASIR, BMI>25 120 kVp	40% ASIR, BMI<25 100 kVp	40% ASIR, BMI>25 120 kVp
No. of F/M	9 / 11	7 / 13	10 / 10	8 / 12
Age (year)	52±1	55±3	53±3	54±2
BMI (kg/m ²)	22±2	28±2	23±1	28±3

* F : female , M : male

2.2 사용기기

사용한 장비는 64-MDCT(LightSpeed VCT Xte, GE Healthcare, Milwaukee, USA)를 이용하였으며, 후향적 심전도 동조화를 사용하였다. 심장 영상 재구성을 위한 workstation으로는 Advatage workstation(Version 4.4, GE, USA)를 이용하였다. 조영증강영상을 얻었다.

2.3 검사 방법

본 연구는 다음과 같이 4개의 군으로 분류하였

다.(table1) : A군, ASIR 적용하지 않고 체질량 지수 25 이하이며 관전압 100 kVp로 촬영한 군 (n=20) ; B군, ASIR 적용하지 않고 체질량 지수 25 이상이며 관전압 120 kVp로 촬영한 군 (n=20) ; C군, ASIR 40% 적용하고 체질량 지수 25이하이며 관전압 100 kVp로 촬영한 군 (n=20) ; D군, ASIR 40% 적용하고 체질량 지수 25 이상이며 관전압 120 kVp로 촬영한 군 (n=20)이다. 심장 CT 검사 시 이용된 파라미터는 40 mm Detector coverage, 0.625 mm의 helical thickness, scan type은 cardiac mode, rotation time은 0.35 sec로 설정하였다. 검사 범위를 기관분기부(Carina) 하방 1 cm부터 심저부(Heart base)까지로 하였으며, 조영제는 초당 5 cc, 총 70 cc 를 주입한 후 연속적으로 생리 식염수를 초당 5 cc, 총 40 cc를 주입하였다. CT 검사 전 nitroglycerin 을 설하 투여하였다. 관전압은 A군과 C군은 100 kVp, B군과 D군은 120 kVp, 관전류 300 mA 로 검사하였다.

2.4 영상 평가

정량적 분석 방법으로 CT 값(number)을 측정하여 잡음(noise) 정도를 분석하였다. 대동맥 중심부에 20mm²의 관심영역(region of interest, 이하 ROI)을 설정 하였으며, 나머지 우관상동맥 (Rightcoronary artery, 이하 RCA), 좌전하행동맥(Left anterior descending artery, 이하 LAD) 혈관 부분은 가능한 큰 8mm²의 관심영역을 설정 한 후, CT값(number)측정하여 평균값과 표준편차를 분석하였다[그림 1].

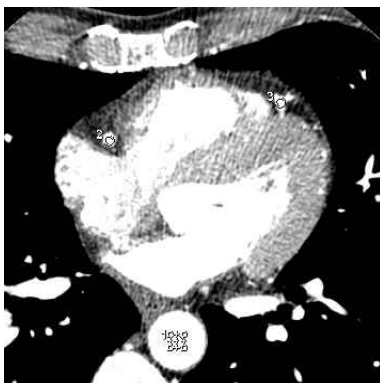


그림 1. 관심영역의 위치

관심영역의 CT값의 평균값은 평균값은 독립표본검정(t-test, SPSS win 12.0)을 이용하였고, P값이 0.05 이하일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 간주하였다.

정성적 분석 방법으로 관상동맥의 우관상동맥(RCA), 좌전하행동맥(LAD) 부분의 영상의 질을 1 ~ 5점으로 분석하였으며, 영상의학과 심장전문 관독의를 포함한 영상의학과 관독의 2명과 영상의학과 전공의 1명이 분석하였다.

등급은 1. 혈관의 형태가 정확히 구분된다 (5점), 2. 혈관의 형태가 보인다 (4점), 3. 모르겠다 (3점), 4. 혈관의 형태가 구분되지 않는다 (2점), 5. 혈관의 형태가 보이지 않는다 (1점) 의 5등급으로 나누어 평가 하였으며, 정확도를 위해 동일한 관독용 모니터를 이용하여 평가 하였으며, 평가자 논문과 관련된 내용은 암시하지 않았다.

통계방법으로는 ANOVA 검정(ANOVA test, SPSS win 12.0)을 이용하였고, P값이 0.05 이하일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 간주하였다.

2.5 피폭선량 분석

유효선량(effective dose)을 평가하였고, 유효선량의 계산은 DLP(dose length product, 이하 DLP)값에 EUR 16262(European guide)[표 2]에서 권고하는 DLP당 흉부 검사 시 유효선량비 0.017을 곱하여 계산하였다[그림 2].

Exam Description: CT(3D)(Heart, Coronary)

Series	Type	Dose Report			
		Scan Range (mm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom cm
1	Scout	-	-	-	-
2	Scout	-	-	-	-
200	Axial	I111.250-I111.250	2.24	1.12	Body 32
201	Axial	I111.250-I111.250	18.05	9.03	Body 32
3	Cardiac Helical	I231.250-I89.375	20.91	369.90	Body 32
5	Helical	S59.500-I280.500	5.20	200.94	Body 32
			Total Exam DLP:		580.99

그림 2. 피폭선량 분석

표 2. EUR 16262에서 권고하는 유효선량비

* EUR 16262 guideline(1999)	
Head : 0.0023	Neck : 0.0054
Chest : 0.017	Abdomen : 0.015
Pelvis : 0.019	

피폭선량 분석 통계방법으로는 독립표본검정(t-test, SPSS win 12.0)을 이용하였고, P값이 0.05 이하일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 간주하였다.

피폭선량에 측정된 DLP값은 CTDI_{vol} 값을 length로 곱해준 것으로 scan중 환자가 받은 총 Dose양을 나타낸다. 구하는 식은 다음과 같다.

$$DLP(mGy \times cm) = CTDI_{vol} \times \text{스캔길이} \quad \text{식 (1)}$$

CTDI : CT dose index, scan된 volum의 average dose

유효선량은(Eff.Dose)은 조직 또는 장기의 등가선량에 조직가중치(계수)(Tissue weighting factor, W^t)를 감안한 Dose 값이다.

$$Eff. Dose(mSv) = DLP[mGy.cm] \times E_{DLP}[mSv.mGy^{-1}.cm^{-1}] \quad \text{식 (2)}$$

- *Eff. Dose=Effective Dose[mSv]
- *DLP=Dose length product[mGy.cm]
- *E_{DLP}=부위별 DLP당 유효선량비(conversion factor) [mSv.mGy⁻¹.cm⁻¹]

III. 결 과

영상의 정량적 분석 결과로 영상 잡음은 ASIR 적용하지 않고 체질량 지수 25이하이며 관전압 100kVp로 촬영한 A군은 494 ± 32 HU, ASIR 40% 적용하고 체질량 지수 25이하이며 관전압 100 kVp로 촬영한 C군은 482 ± 48 HU로 나타났다. ASIR 적용하지 않고 체질량 지수 25 이상이며 관전압 120 kVp로 촬영한 B군은 510 ± 45 HU, ASIR 40 % 적용하고 체질량 지수 25 이상이며 관전압 120 kVp로 촬영한 D군은 480 ± 82 HU로 나타났다[표 3].

표 3. 그룹별 영상 잡음 (unit: HU)

Group	A	B	C	D
Aorta	621±78	362±54	619±77	362±52
RCA	519±69	677±54	503±62	595±49
LAD	339±59	491±57	321±18	482±52

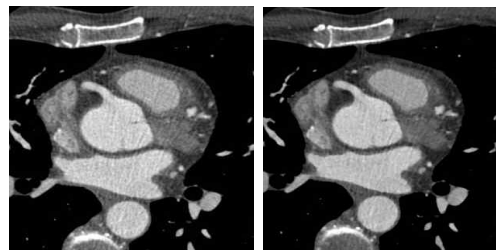
A군과 C군의 상관관계를 분석한 결과 유의확률은 0.01(P<0.05)으로써 A군과 C군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, ASIR 적용하지 않은 A군이 ASIR 40%를 적용한 C군보다 노이즈가 유의하게 높았다.

또한 B군과 D군의 상관관계를 분석한 결과 유의확률은 0.01(P<0.05)으로써 B군과 D군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, ASIR 적용하지 않은 B군이 ASIR 40%를 적용한 D군보다 노이즈가 유의하게 높았다.

정성적 평가방법으로 관상동맥 분절별로 임상평가한 결과 평균값은 A군은 4.13±0.2, B군은4.18±0.1, C군은 4.1±0.2, D군은 4.15±0.1로 A군, B군, C군, D군 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었으며(P<0.05), 모든 군에서 진단에 적절한 영상을 보였다[표 4][그림 3][그림 4].

표 4. 관상동맥 분절별로 임상평가 결과

Group	A	B	C	D
Score	4.13±0.2	4.18±0.1	4.1±0.2	4.15±0.1



(a) group A (b) group C

그림 3. A군과 C군의 진단 평가

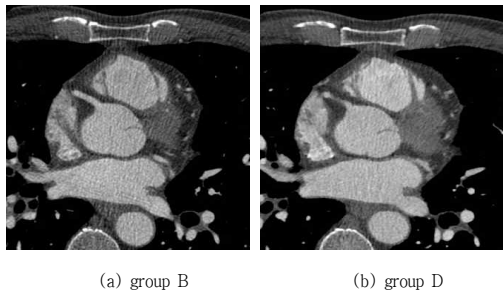


그림 4. B군과 D군의 진단 평가

피폭선량의 분석 결과로서 네군의 유효선량은 A군은 8.6±0.9, B군은 14.9±0.4, C군은 5.8±0.5, D군은 10.1±0.6 mSv 이었다[표 5].

표 5. 그룹별 피폭선량

Group	A	B	C	D
유효선량 (mSv)	8.6±0.9	14.9±0.4	5.8±0.5	10.1±0.6

A군과 C군의 상관관계를 분석한 결과 유의확률은 0.01(P<0.05)으로써 A군과 C군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, ASIR 40%를 적용한 C군이 ASIR 적용하지 않은 A에 비하여 피폭선량이 32.6 % 감소하였다.

또한 B군과 D군의 상관관계를 분석한 결과 유의확률은 0.01(P<0.05)으로써 B군과 D군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, ASIR 40%를 적용한 D군이 ASIR 적용하지 않은 B군에 비하여 피폭선량이 32.2 % 감소하였다.

이는 체질량 지수가 25 이하로 낮은 환자에서 선택적으로 관전압을 100 kVp로 낮추어 촬영하는 동시에 ASIR 40%를 적용하여 검사 하면 피폭선량을 훨씬 더 감소시킬 수 있다.

IV. 고찰 및 결론

CT 검사는 일반 단순 X-선 검사나 투시조영검사와 비교할 때, 환자에 대한 방사선 피폭이 더 많은 것으로

보고 되었다[7]. CT 촬영 시 피폭 선량 감소를 위해 몇 가지 접근법이 활용되어 왔다. 이들 접근법에는 자동 CT 관전류 조정(automated CT tube current modulation), 노이즈감소 필터 활용 및 임상에 따른 저프로토콜(low-dose protocols for specific indications) 등이 있다[8]. Bae Kyong Tae 등을 통해서 환자의 개별적인 특성인 체질량지수가 CT 검사 시 영상의 화질에 영향을 미친다고 알려져 있다[9]. 특히 Leschka 등에 의해 CT 혈관조영술을 검사할 때 체질량지수가 높으면, 혈관의 조영증강의 감소와 noise의 증가로 영상의 질이 저하됨이 보고 되었다[10]. 방사선량은 영상의 질에 직접적으로 영향을 미치므로 선량이 불충분할 경우, noise는 증가하게 된다. 영상의 질적인 향상을 위해 noise를 감소시키고자 관전압과 관전류를 증가시키면 이로 인한 환자 피폭선량 증가는 불가피하다. 그러나, CT 혈관 조영술을 저 관전압으로 검사하면 영상 잡음이 높아져 영상의 질이 저하되지만, 혈관 내 조영 증강이 높아지므로 조영 증강대 잡음비는 유지되어 진단에 적절한 영상을 얻을수 있으며 방사선 피폭량을 줄일 수 있는 장점이 있다[11]. 김윤경 등은 체질량지수가 25 이하인 환자에게 관전압을 120 kVp 대신 100 kVp로 낮추어 검사하는 방법을 통해 영상의 질적 저하 없이 방사선 피폭량을 약 42% 감소시킬수 있다고 보고 하였다 [5].

최근에는, 반복적 재구성 원리에 근거해 잡음을 줄이면서 영상화질을 향상시키는 적응식 통계적 재구성법(ASIR)이 개발되었다. 기존의 역투영법에 의존하던 방식에서 통계적으로 영상을 반복 재구성하는 ASIR를 적용함에 따라 저선량 검사로도 진단적으로 가치가 있는 영상을 구현할수 있게 되었다[6]. 이러한 재구성 방법은 환자선량을 감소시키며, 진단적 가치가 있는 화질의 영상을 생성하게 되었다.

ASIR법은 기존의 영상 재구성인 역투영법(FBP)을 바탕으로 noise map을 만들게 되고 통계적 model을 구성하여 FBP 과정을 지나 피사체의 original 영상과 적절하게 blending하는 새로운 영상 재구성 방법으로 ASIR 수식은 다음과 같다.

$$X = \operatorname{argmin}\{L(Ax, y) + \alpha G(x)\} \quad \text{식 (3)}$$

위의 함수에서 X는 결과적으로 나타낼수 있는 영상의 픽셀값이고 $\alpha G(x)$ 는 영상의 픽셀을 안정하게 유지하는 함수로서 예를들면 smoothing, edge enhancement 등의 과정이다. L은 Projection data들의 통계적 함수로서 여기에 A는 noise model로 algebraic matrix 변환에 기초를 둔 픽셀값과 noise value를 포함하고 있다[12]. ASIR는 10 % 에서 100 % 까지 다르게 적용할 수가 있으며, 100 % 까지 올려서 적용하면 이미지 노이즈가 너무 적어져서 이미지가 인공적인 것 처럼 보이게 된다. 진단을 위해서 사용하기에 100 % 까지 올려 적용한 ASIR가 적합한지는 아직 실제로 판명되지 않았지만, 대부분의 사용자들은 잡음을 줄이는 동시에 ASIR를 적용하지 않은 영상과 동일한 진단 정보를 제공하는 적절한 ASIR 수준인 30 % 혹은 40 %를 선호한다[13].

따라서, 본 연구에서는 심장검사 시 ASIR 40%를 적용하여 검사해 보았으며, 체질량 지수 따라 관전압을 변화 시킴으로 영상의 질에 미치는 영향과 피폭선량 감소에 대해 알아보고자 하였다.

영상 잡음의 경우 ASIR 적용하지 않고 체질량 지수 25이하이며 관전압 100kVp로 촬영한 A군과 ASIR 40% 적용하고 체질량 지수 25이하이며 관전압 100 kVp로 촬영한 C군사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, A군이 C군보다 노이즈가 유의하게 높았다. 또한, ASIR 적용하지 않고 체질량 지수 25 이상이며 관전압 120 kVp로 촬영한 B군과 ASIR 40% 적용하고 체질량 지수 25 이상이며 관전압 120 kVp로 촬영한 D군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, B군이 D군보다 노이즈가 유의하게 높았다. 따라서, ASIR 40% 를 적용하여 검사하여도 영상의 질에는 부정적인 영향을 주지 않는다고 볼 수 있다. 관상동맥 분절의 경우 ASIR를 적용하지 않은 A군과 B군 ASIR 40% 적용하여 촬영한 C군과 D군 모두 98%에서 진단에 적절한 영상을 얻을 수 있다는 것을 확인하였다. ASIR를 적용한 C군이 A군보다 영상의 질의 평균 점수는 낮았다. D군 또한 B군보다 영상의 질의 평균 점수는 약간 낮았다. 이는 ASIR 40%를 적용함으로써 선량을 줄이는 동시에 노이즈를 감소 시키기 위한 효과로 인해 다소 영

상의 질이 낮아졌음을 생각해 볼 수 있다. 체질량 지수 25 이하인 환자에게 100 kVp로 낮추어 검사하는 동시에 ASIR 40% 적용함으로써 영상의 질 저하 없이 방사선 피폭량을 약 32.6 % 감소 시킬 수 있었다. 또한 체질량 지수 25 이상인 환자에게 120 kVp로 높아서 촬영함에도 불구하고 ASIR 40% 적용함으로써 영상의 질 저하 없이 방사선 피폭량을 약 32.2 % 감소 시킬 수 있었다.

본 연구의 제한점은 건진 환자와 같은 비 질환군을 대상으로 하였고, 심장 박동수 65 ~ 75회 이내 안정된 환자들을 대상으로 하였다. 또한 체질량 지수에 따라 조영제 양을 조절하지 않고 동일하게 사용하였다.

향후에는 비 질환군 및 질환군을 대상으로 연구한다면 더욱더 다양한 결과가 나타날 수 있을 것으로 생각한다.

결론적으로 64-MDCT를 이용한 심장 CT 검사에서 체질량 지수가 25 이하로 낮은 환자에서 관전압 100 kVp로 낮추어 검사하는 동시에 ASIR 40% 적용함으로써 영상의 질 저하 없이 방사선 피폭량을 약 32.6 % 감소 시킬 수 있었다. 또한 체질량 지수 25 이상인 환자에서 120 kVp로 높여서 검사하는 동시에 ASIR 40 % 적용함으로써 영상의 질 저하 없이 방사선 피폭량을 약 32.2 % 감소 시킬 수 있었다. 영상 재구성 기법의 개발과 하드웨어와 소프트웨어의 발전이 병행된다면, 훨씬 더 적은 선량으로도 검사가 가능할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] R. E. Bunge and C. Herman, "Usage of diagnostic procedures: a nationwide hospital study," Radiology. Vol.163, No.2, pp.569-657, 1987.

[2] F. A. Mettler, J. A. Briggs, and R. Carchman, "Use of radiology in U.S general short-term hospital:1980-1990," Radiology. Vol.189, No.3, pp.377-380, 1993.

[3] J. David and Brenner, Eric J. "Computed

Tomography—An Increasing Source of Radiation Exposure,” N Engl J Med. Vol.357, No.1, pp.2277-2284, 2007.

[4] Fuminari Tatsugami, Lars Husmann, and Bernhard A. herzog, "Evaluation of a Body Mass Index-Adapted Protocol for Low-Dose 64-MDCT Coronary Angiography with Prospective ECG Triggering," AM J Roentgenol. Vol.192, No.2, pp.635-638, 2009.

[5] 김윤경, 김유경, "체질량 지수 및 관전압 변화에 따른 CT 관상동맥 조영술의 영상의 질 및 방사선 피폭량 비교", 대한영상의학회지, 제62권, 제1호, pp.29-35, 2010.

[6] A. K. Hara, R. G. Paden, and A. C. Silva, "Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT, feasibility study," AJR, Vol193, No.2, pp.764-771, 2009.

[7] J Anthony Seibert, Gray T barnes, and Robert G Gould, "Specification, Acceptance testing and quality control of diagnostic X-ray imaging equipment," Medical physics monograph. Vol.20, No.1, pp.899-936, 1991.

[8] A. B. Smith, W. P. Dillon, and B. C. Lau, "Radiation dose reduction strategy for CT protocols, successful implementation in neuroradiology section," Radiology. Vol.247, No.3, pp.499-506, 2008.

[9] K. T. Bae, B. A. Seeck, and C. F. Hildebolt, "Contrast enhancement in cardiovascular MDCT, effect of body weight, height, body surface area, body mass index, and obesity," Am J Roentgenol Vol.190, No.4, pp.777-784, 2008.

[10] S. Leschka, P. Stolzmann, and F. T. Schmid, "Low kilovoltage cardiac dual-source CT, attenuation, noise, and radiation dose," Eur Radiol. Vol.18, No.4, pp.1809-1817, 2008.

[11] Z. Szucs-Farkas, L. Kurmann, and T. Strautz,

"Patient exposure and image quality of low-dose pulmonary computed tomography angiography, comparison of 100 kVp and 80 kVp protocols," Invest Radiol. Vol.43, No.4, pp.871-876, 2008.

[12] K. Sauer and C. bouman, "A local update strategy for iterative reconstruction from projections," IEEE Trans, on Signal Processing 41, 1993(2).

[13] Alvin C. Silva, Holly J. Lawder, and Amy Hara, "Innovation in CT Dose Reduction Strategy, Application of the Adaptive Statistical Iterative Reconstruction Algorithm," AJR. Vol.194, No.1, pp.191-199, 2010.

저 자 소 개

장 현 철(Hyun-Cheol Jang)

정회원



- 2010년 : 순천향대학교 대학원 (의료정보학석사)
- 2006년 ~ 현재 : 순천향대학교 부속 부천병원 영상의학과

<관심분야> : 정보보호(Personal Information), 의료 정보

김 현 주(Hyun-Ju Kim)

정회원



- 2010년 : 순천향대학교 대학원 (의료정보학석사)
- 2001년 ~ 현재 : 순천향대학교 부천병원 영상의학과

<관심분야> : 의료 정보

조 재 환(Jae-Hwan Cho)

정회원



- 2010년 : 순천향대학교 대학원
(의료정보학석사)
- 2010년 : 순천향대학교 대학원
(컴퓨터공학과 의료영상처리 박사 과정중)
- 2010년 ~ 현재 : 경산1대학 방사

선과 교수

<관심분야> : 정보보호(Personal Information), 의료
정보