

# 체질량지수에 따른 심장 CT검사의 수동노출조절 방법과 자동노출조절 방법의 방사선량 및 화질 평가

## Evaluation of Radiation Dose and Image Quality Between Manual and Automatic Exposure Control Mode According to Body Mass Index in Cardiac CT

김형진\*, 문일봉\*\*, 한재복\*\*\*, 최남길\*\*, 장성주\*\*\*

화순전남대학교병원 영상의학과\*, 광주보건대학교 방사선과\*\*, 동신대학교 방사선학과\*\*\*

Hyeong-Jin Kim([tea1553@naver.com](mailto:tea1553@naver.com))\*, Il-Bong Moon([moonib@naver.com](mailto:moonib@naver.com))\*\*,

Jae-Bok Han([way2call@dsu.kr](mailto:way2call@dsu.kr))\*\*\*, Nam-Gil Choi([crs0723@hanmail.net](mailto:crs0723@hanmail.net))\*\*\*,

Seong-Ju Jang([sjjang@dsu.ac.kr](mailto:sjjang@dsu.ac.kr))\*\*\*

### 요약

건강검진 목적으로 심장 CT검사를 시행한 198명의 대상자 중 수동노출조절 방법(n=123)의 대조군과 자동노출조절 방법(n=75)의 실험군으로 BMI에 따라 Grade 1(BMI < 23kg/m<sup>2</sup>), Grade 2(23 ≤ BMI < 25kg/m<sup>2</sup>), Grade 3(25 ≤ BMI < 30kg/m<sup>2</sup>), Grade 4(30 ≤ BMI kg/m<sup>2</sup>)로 분류하고 영상의 질을 객관적, 주관적 평가로 분석하였고 방사선량을 비교하였다. 자동노출조절 방법을 사용하였을 때 모든 Grade에서 관전압이 유의하게 감소하였고, CTDI<sub>vol</sub>, effective dose 값은 Grade 2에서는 통계적으로 유의하지 않게 감소하였으나 Grade 1, 3, 4에서는 유의하게 감소하였다(p<0.05). SNR은 Grade 1에서 유의하게 감소하였고 Grade 3에서는 유의하게 증가하였지만(p<0.05) Grade 2와 4에서는 유의한 차이가 없었다(p>0.05). CNR은 Grade 1에서 유의하게 감소하였고(p<0.05), Grade 2, 3, 4에서는 유의한 차이는 없었다(p>0.05). 영상의 주관적인 평가에서도 두 그룹간의 모든 Grade에서 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 결론적으로 자동노출조절 방법은 수동노출조절 방법에 비해 영상의 주관적 평가는 변하지 않으면서도 피폭선량을 줄일 수 있는 유용한 방법으로 나타났다.

■ 중심어 : | 수동노출조절 | 자동노출조절 | 영상 화질 |

### Abstract

This study included 198 patients who underwent prospectively electrocardiogram-triggered high-pitch spiral mode(FLASH mode) in cardiac CT for health check: 123 patients who underwent manual exposure control(Group A) and 75 patients who underwent automatic exposure control(Group B). Patients were classified according to BMI grades: Grade 1, Grade 2, Grade 3, Grade 4. Radiation dose, objective and subjective image quality between two groups were compared. In Group B, tube voltage were significantly decreased in all BMI grades. Both CTDI<sub>vol</sub> and effective dose were significantly reduced in the BMI Grade 1, 3, and 4 whereas they were slightly reduced in the Grade 2(p>0.05), SNR was significantly decreased in the Grade 1 and increased in the Grade 3(p<0.05), but there was no significant difference in the Grade 2, 4 between the two groups(p>0.05). CNR was significantly decreased in the Grade 1(p<0.05), and there was no significant difference in the Grade 2, 3, 4 between the two groups(p>0.05). The subjective image quality showed no significant difference in all BMI Grades between the two groups(p>0.05). Automatic exposure control can lead to a significant reduction of radiation exposure dose without degradation of subjective image quality.

■ keyword : | Manual Exposure Control | Automatic Exposure Control | Image Quality |

## I. 서론

다중검출 전산화단층촬영(multidetector CT; 이하 MDCT)을 이용한 심장 검사는 비 침습적인 방법으로 가슴의 통증, 혈압상승, 관상동맥 질환의 진단 및 선별 검사로 그 정확도가 인정되고 있으며, 사용 빈도 및 범위가 점차 확대되고 있다[1-3]. 그러나 심장 CT검사는 다른 부위의 검사보다 방사선 피폭선량이 높다는 문제가 있어 피폭선량을 줄이기 위한 연구가 시도되고 있다[1][4-6].

이의 일환으로 저관전압 방법이 대두되고 있으며, 일반적으로 방사선 선량은 일정한 관전류를 유지한다면 관전압의 제곱에 비례하므로 적절한 관전압의 조절이 환자의 피폭선량에 중요한 인자이다[7-9]. 따라서 심장 CT검사 시 관전압을 낮추어 촬영하는 것이 환자의 피폭선량을 줄이는데 필수적이라고 할 수 있으나 관전압을 낮출수록 영상 잡음이 증가한다는 단점이 있으며 특히 비만 환자의 경우 영상 잡음이 더욱 심해진다[6]. 이로 인해 심장 CT검사 시 환자의 체질량지수(body mass index; 이하 BMI)에 따라 수동노출조절 방법에 의해 서로 다른 관전압을 적용하는 검사 프로토콜이 연구되었다[10-14]. 이 연구들은 듀얼-소스(dual-source) CT에서 전향적 심동조화를 이용한 기법을 사용하여 심장 CT검사를 시행할 때 BMI가 25 미만인 환자는 관전압을 120 kVp에서 100 kVp로 낮추어 촬영하여도 영상의 질과 진단능에 유의한 차이가 없다고 보고하고 있다[12-14]. 그러나 이 연구들은 모두 BMI 25 미만과 이상의 환자에서만 시행된 연구들로서 세부적인 BMI에 확대하여 적용하기에는 아직까지 어려움이 따른다.

또한 최소한의 선량으로 적절한 영상의 질을 유지하기 위한 여러 가지 다양한 방법들이 시도되고 있는데, 그 중에서도 자동으로 관전류를 조절하는 자동관전류 변조(automatic tube current modulation, 이하 ATCM) 방법은 환자에게 노출되는 선량을 최적화시킴과 동시에 영상의 질을 일정하게 유지하는데 중요한 기술로서 임상에서 널리 이용되고 있다[15][16]. 한편 최근 다양한 환자와 검사 유형에 맞게 자동으로 관전압을 조절하는 자동관전압선택(automatic tube voltage selection,

이하 ATVS) 방법의 개발은 환자의 피폭선량을 감소시킬 수 있는 새로운 장을 열어주었다[17]. ATVS는 scout 영상에서 환자의 형태를 파악하고 사용자가 적절한 참고치 관전압(reference kV), 참고치 관전류(quality reference mAs), 검사 유형(조영 전, 뼈 검사, 조영 후 연부조직, 조영 후 혈관검사 등)을 선택하여 주면, 검사장비에서 참고치 관전압과 관전류에 해당하는 조영증강 대 잡음비(contrast-to-noise ratio, 이하 CNR)를 유지시키면서 자동으로 낮은 관전압을 주어 피폭선량을 줄이는 방법이다. 이에 ATVS와 ATCM을 동시에 적용한 자동노출조절 방법과 BMI에 따른 수동노출조절 방법을 비교한 연구가 진행되고 있다[18]. 그러나 이 연구들도 세부적인 BMI에 확대하여 적용하기에는 어려움이 따른다.

따라서 본 연구에서는 듀얼-소스 CT로 심장 영상을 획득하기 위해 전향적 심동조화를 이용한 FLASH 기법을 사용하여 세부적인 BMI에 따른 자동노출조절(ATVS, ATCM) 방법과 수동노출조절 방법의 피폭선량과 영상의 질을 비교하고 임상 유용성을 알아보고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 2012년 3월부터 9월까지 C대학교병원에서 건강검진 목적으로 심장 CT검사를 시행한 총 301명(남 196명, 여 105명)의 내원자를 대상으로 하였다. 검사시작 전 모든 대상자들은 신장과 체중을 측정하고 체중(kg) ÷ 신장(m<sup>2</sup>)의 공식에 따라 BMI(kg/m<sup>2</sup>)를 계산하였다. BMI는 총 4등급으로 분류하였으며 BMI가 23kg/m<sup>2</sup> 미만인 경우를 Grade 1로, 23이상 25미만인 경우는 Grade 2로, 25이상 30미만인 경우를 Grade 3으로, 30이상인 경우를 Grade 4로 분류하였다. CT검사 시행 전 모든 대상자에서 분당 심박동수를 측정하여 심박동수가 65회를 초과한 경우(n=75)와 65회 이하였으나 불안정한 심박동수를 보인 경우(n=28)는 분석대상에서 제외하여 최종적으로 198명이 이 연구에 포함되었다.

총 198명의 대상자들 가운데 남성 127명, 여성 71명이었으며 평균연령은 54.1세 (32~77세)였다. 이중 수동노출조절 방법으로 CT 영상을 획득한 군을 Group A로, 자동노출조절 방법으로 영상을 획득한 군을 Group B로 분류하였다. Group A는 총 123명으로 남성 73명, 여성 50명이었고 평균 연령은 54.1세 (36~77세)였으며 BMI 등급별 대상자의 수는 Grade 1이 41명, Grade 2는 27명, Grade 3은 47명, Grade 4가 8명이었다. Group B는 총 75명으로 남성 54명, 여성 21명이었고 평균 연령은 54.1세 (32~72세)였으며 BMI 등급별 대상자의 수는 Grade 1이 28명, Grade 2는 19명, Grade 3은 25명, Grade 4가 3명이었다.

2. 장비 및 검사방법

검사장비는 Dual Source SOMATOM Definition Flash(Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)를 사용하여, 전향적 심전도 동기화 high-pitch spiral 방식 (FLASH mode)을 적용하였다. 영상 변수는 rotation time 0.28sec, acquisition 128 × 0.6mm, pitch 3.4, slice thickness 0.75mm, increment 0.5mm, kernel B26f였다. 조영제는 Ultravist 370(Schering, Berlin, Germany)을 사용하였으며, 18 게이지 카테터를 이용하여 상완정맥으로 15ml의 조영제와 이어서 20ml의 생리식염수를 4.5ml/s로 주입하여 test bolus 후 상행 대동맥(ascending aorta)에 관심영역(region-of-interest, 이하 ROI)을 그려 peak enhance time에 6sec를 더해 검사 시작 시간을 결정하고 약 70ml의 조영제와 이어서 60ml의 생리식염수를 4.5ml/s 속도로 파워 인젝터 (Optivantage; Liebel-Flarsheim, USA)를 사용하여 주입하고 검사를 시행하였다.

수동노출조절 방법으로 CT검사를 시행하였을 때는 BMI 분류에 따라 각각 관전압과 관전류는 Grade 1과 Grade 2에 해당하면 100kVp, 240mAs, Grade 3에 해당하면 120kVp, 240mAs, Grade 4에 해당하면 140kVp, 270mAs를 주어 검사를 시행하였다[19]. 자동노출조절 방법으로 CT검사를 시행하였을 때는 기기에 내장된 소프트웨어인 ATVS(CARE kV, Siemens Healthcare)와 ATCM(CARE Dose 4D, Siemens Healthcare)을 이용

하여 수동노출조절 방법과 동일한 조건이 되도록 각 Grade에 똑같은 참고치 관전압과 참고치 관전류를 입력하고 Dose saving optimized for vascular scans로 11을 선택하여 영상을 획득하였다[표 1].

표 1. BMI등급에 따른 방사선 검사 조건

	Tube voltage, kV	Tube current exposure time product, mAs
Grade 1	100	240
Grade 2	100	240
Grade 3	120	240
Grade 4	140	270

3. 방사선 조사 조건 및 방사선량 평가

PACS 워크스테이션(Maroview; Marotech, Seoul, Korea)에서 관전압(kV), 유효 관전류(effective mAs), CTDI<sub>vol</sub> (volume computed tomography dose index)값과 방사선량×길이(dose-length product, 이하 DLP)값을 확인하여 기록하고 유효선량(effective dose)은 DLP에 흉부의 전환계수(conversion coefficient)인 0.017을 곱하여 계산하고 Group A와 Group B의 대상군에서 관전압, 관전류, CTDI<sub>vol</sub>과 유효선량의 차이를 비교 분석하였다.

4. 영상의 평가

영상 평가와 분석은 PACS 워크스테이션에서 시행하였다. 영상의 객관적 평가는 측정 구조물에 원형의 ROI(cm<sup>2</sup>)를 혈관 벽이나 주변조직이 포함되지 않도록 가능한 크게 설정하여 CT 값(number)과 표준편차(standard deviation, 이하 SD)를 측정하여 신호 대 잡음 비(signal-to-noise ratio, 이하 SNR)와 CNR을 계산하였다. 영상 잡음(noise)은 ROI CT 값의 SD로 정의하여 SNR은 좌주관상동맥(left main coronary artery : LMA) 기시부의 상행 대동맥(ascending aorta) 근위부에서 측정하여 [SNR = 상행 대동맥 근위부의 CT 값/상행 대동맥 근위부의 SD(noise I)] 의 등식을 이용하여 계산하였고, CNR은 좌심실(left ventricle)과 심실중격(ventricular septal wall)에 각각 ROI을 설정하여

[CNR = (좌심실의 CT 값 - 심실 중격 벽의 CT 값)/좌심실의 SD(noise ID)] 의 등식을 이용하여 계산하였다 [4]. 각각의 SNR과 CNR을 Group 사이와 대상자군 내에서 BMI에 따른 값의 차이를 비교 분석하였다.

영상 화질의 주관적 평가는 4명의 영상의학과 전문의가 합의하에 다음과 같이 4단계로 분석하였다: very good (4점), 인공물(artifact)이 거의 없으며 진단에 매우 유용할 때; good (3점), 약간의 인공물이 있지만 진단에 영향을 주지 않을 정도일 때; fair (2점), 심한 인공물이 있으나 진단이 가능할 때; poor (1점), 관상동맥이 전혀 보이지 않거나 인공물이 심해 진단이 불가능할 때로 평가하였다.

5. 통계 분석

연속형 변수의 값은 평균값 ± 표준편차(mean ± SD)로 나타냈으며 범주형 변수의 값은 퍼센트(%)로 각각 나타냈다. 통계적 분석에는 SPSS version 20.0 (statistical analysis package, Chicago, IL, USA)을 이용하였으며 두 그룹 간 평균 비교에는 unpaired t-test(independent sample t-test or Mann-Whitney U test)를 이용하였고, 그룹 내에서의 항목별 비율에 따른 그룹 비교에는 카이 제곱 검정법(chi-square test)으로 하여 통계학적 유의수준은 p 값이 0.05 미만으로 하였다.

III. 결 과

1. 대상자의 일반적인 특성

Group A와 Group B 사이에 환자의 나이, 성별, 신장, 몸무게 및 BMI는 통계학적으로 차이가 없었다[표 2].

표 2. 대상자의 일반적 특성

	Group A (n=123)	Group B (n=75)	p
Age(yrs, mean ± SD)	54.1 ± 8.5	54.1 ± 7.4	0.979
Sex(Male : female)	73 : 50	54 : 21	0.072
Height(m, mean ± SD)	1.64 ± 0.1	1.66 ± 0.1	0.181
Weight(kg, mean ± SD)	65.9 ± 12.8	67.1 ± 11.3	0.517
BMI(kg/m <sup>2</sup> , mean ± SD)	24.3 ± 3.7	24.2 ± 2.8	0.854

2. 방사선 조사조건

자동노출조절 방법은 수동노출조절 방법에 비해 Grade 1에서는 관전압은 100kV에서 83.6 ± 7.8kV로 감소하였으며 관전류는 240mAs에서 273.1 ± 47.8mAs로 증가하였다. Grade 2에서는 관전압은 100kV에서 92.6 ± 13.7kV로 감소하였으며 관전류는 240mAs에서 274.6 ± 55.0mAs로 증가하였다. Grade 3에서는 관전압은 120kV에서 102.4 ± 8.8kV로 감소하였으며 관전류는 240mAs에서 295.8 ± 37.9mAs로 증가하였다. Grade 4에서는 관전압은 140kV에서 113.3 ± 11.5kV로 감소하였고 관전류는 270mAs에서 350.3 ± 18.6mAs로 증가하였다[표 3].

표 3. BMI등급에 따른 A,B그룹간의 방사선 조사조건

Grades of BMI	Tube voltage, kV			Tube current exposure time product, Eff. mAs		
	Group A (n=123)	Group B (n=75)	p	Group A (n=123)	Group B (n=75)	p
Grade 1	100	83.6±7.8	0.000	240	273.1±47.8	0.000
Grade 2	100	92.6±13.7	0.005	240	274.6±55.0	0.000
Grade 3	120	102.4±8.8	0.000	240	295.8±37.9	0.000
Grade 4	140	113.3±11.5	0.012	270	350.3±18.6	0.012

3. 방사선량

방사선량은 자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 Grade 1에서는 CTDI<sub>vol</sub>은 2.3 ± 0.0mGy에서 1.4 ± 0.3mGy로, 유효선량은 0.8 ± 0.0mSv에서 0.5 ± 0.1mSv로 유의하게 감소하였다. Grade 2에서는 CTDI<sub>vol</sub>은 2.3 ± 0.0mGy에서 2.0 ± 0.6mGy로 유효선량은 0.7 ± 0.0mSv에서 0.6 ± 0.2mSv로 감소하였으나 통계적으로 두 그룹간의 유의한 차이는 없었다. Grade 3에서는 CTDI<sub>vol</sub>은 3.9 ± 0.0mGy에서 3.2 ± 1.1mGy로, 유효선량은 1.2 ± 0.1mSv에서 1.0 ± 0.3mSv로 감소하였으며 이는 통계적으로 유의하였다. Grade 4에서도 CTDI<sub>vol</sub>은 6.7 ± 0.0mGy에서 5.0 ± 1.5mGy로, 유효선량은 2.1 ± 0.1mSv에서 1.6 ± 0.5mSv로 유의하게 감소하였다[표 4].

표 4. BMI등급에 따른 A,B그룹간의 방사선량

Grades of BMI	CTDIvol			Effective dose		
	Group A (n=123)	Group B (n=75)	P	Group A (n=123)	Group B (n=75)	P
Grade 1	2.3±0.0	1.4±0.3	0.000	0.8±0.0	0.5±0.1	0.000
Grade 2	2.3±0.0	2.0±0.6	0.757	0.7±0.0	0.6±0.2	0.050
Grade 3	3.9±0.0	3.2±1.1	0.000	1.2±0.1	1.0±0.3	0.000
Grade 4	6.7±0.0	5.0±1.5	0.012	2.1±0.1	1.6±0.5	0.048

4. 영상 화질의 객관적 평가

가. Grade 1 (BMI < 23kg/m<sup>2</sup>)

자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 평균 CT 값은 상행대동맥이 567.7 ± 76.9CT 값에서 691.9 ± 133.0CT 값으로, 좌심실이 545.1 ± 82.1CT 값에서 663.0 ± 125.2CT 값으로, 심실 간 중격 벽은 122.4 ± 24.7CT 값에서 144.2 ± 32.9CT 값으로 각각 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 평균 잡음 I과 II값도 역시 27.4 ± 3.9CT 값에서 39.7 ± 8.4CT 값으로 28.3 ± 4.4CT 값에서 48.3 ± 9.9CT 값으로 유의한 증가를 보였지만, SNR은 21.0 ± 3.5에서 17.8 ± 3.2로, CNR은 15.3 ± 3.4에서 10.9 ± 1.8로 유의하게 감소하였다[그림 1][그림 2].

나. Grade 2 (23 ≤ BMI < 25kg/m<sup>2</sup>)

자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 평균 CT 값은 상행대동맥이 521.5 ± 51.8CT 값에서 603.2 ± 130.4CT 값으로, 심실 간 중격 벽이 105.4 ± 21.9CT 값에서 123.5 ± 16.5CT 값으로 유의하게 증가하였다. 하지만 좌심실에서는 평균 CT 값, 평균 잡음 값은 모두에서 증가를 보였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, SNR, CNR 또한 감소를 보였으나 유의한 차이를 보이지 않았다[그림 1][그림 2].

다. Grade 3 (25 ≤ BMI < 30kg/m<sup>2</sup>)

자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 평균 CT 값은 상행대동맥이 382.0 ± 58.5CT 값에서 497.2 ± 74.8CT 값으로, 좌심실은 363.2 ± 64.3CT 값에서 472.6 ± 78.5CT 값으로, 심실 간 중격 벽은 82.0 ± 18.5CT 값에서 103.0 ± 21.8CT 값으로 각각 나타났다. 평균 잡음 I과 II 값은 24.7 ± 3.6CT 값에서 29.4 ± 6.0CT 값으로 28.2 ±

3.9CT 값에서 35.8 ± 8.2CT 값으로 각각 증가하는 것으로 나타났으며, SNR도 15.6 ± 2.7에서 17.1 ± 1.9로 증가하였다. 평균 CT 값, 평균 잡음, SNR 모두 유의한 차이를 나타냈다. 한편 CNR은 10.1 ± 2.1에서 10.5 ± 1.5로 증가하였으나 유의한 차이는 없었다[그림 1][그림 2].

라. Grade 4 (30 ≤ BMI kg/m<sup>2</sup>)

자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 평균 CT 값은 상행대동맥이 292.0 ± 26.0CT 값에서 341.0 ± 22.1CT 값으로, 좌심실이 269.5 ± 50.4CT 값에서 336.7 ± 29.7CT 값으로 유의하게 증가한 반면, 심실 간 중격 벽은 평균 잡음 값, SNR, CNR에서 유의한 차이는 없었다[그림 1][그림 2].

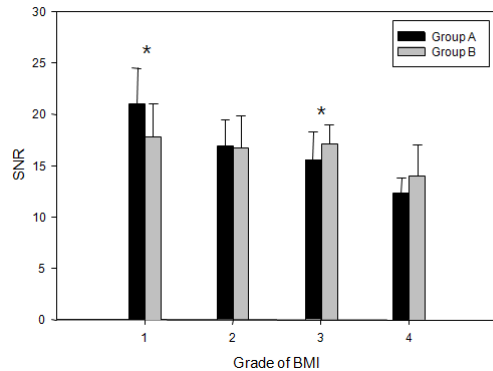


그림 1. BMI등급에 따른 A,B그룹간의 SNR비교

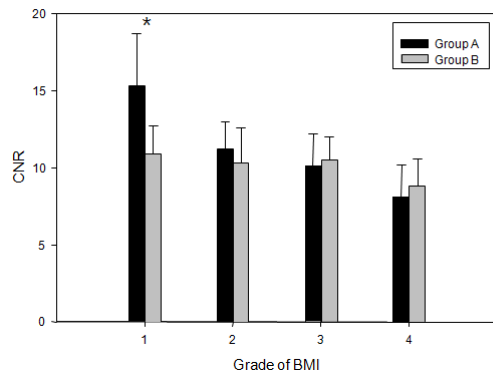


그림 2. BMI등급에 따른 A,B그룹간의 CNR비교

## 5. 영상 화질의 주관적 평가

BMI 등급별 영상 화질에 대한 주관적 평가 점수 (Group A와 Group B)는 Grade 1에서는 각각  $2.9 \pm 0.4$ ,  $3.0 \pm 0.0$ , Grade 2에서는  $2.9 \pm 0.3$ ,  $2.9 \pm 0.2$ , Grade 3에서는  $2.9 \pm 0.3$ ,  $3.0 \pm 0.2$ , Grade 4에서  $2.9 \pm 0.4$ ,  $2.7 \pm 0.6$ 로 각각 나타났으며, 등급별로 Grade 1부터 Grade 4에서 모두 두 그룹간의 유의한 차이는 없었다[표 5].

표 5. BMI등급에 따른 A,B그룹간의 영상의 화질

	Group A (n=123)	Group B (n=75)	p
Grade 1	$2.9 \pm 0.4$	$3.0 \pm 0.0$	0.097
Grade 2	$2.9 \pm 0.3$	$2.9 \pm 0.2$	0.778
Grade 3	$2.9 \pm 0.3$	$3.0 \pm 0.2$	0.277
Grade 4	$2.9 \pm 0.4$	$2.7 \pm 0.6$	0.605

## IV. 고찰

본 연구에서는 심장 CT검사에서 자동노출조절 방법과 수동노출조절 방법을 사용했을 때의 피폭선량과 영상 차이를 관찰하고 임상에서의 유용성을 평가하였다. 심장 CT 조영 검사 시 일반적으로 수동노출조절 방법을 이용했을 때보다 자동노출조절 방법을 사용하였을 때 관전압이 Grade 1에서 16.4%, Grade 2에서 7.4%, Grade 3에서 14.7%, Grade 4에서 19.1% 감소하였고 CTDI<sub>vol</sub>은 Grade 1에서 39.1%, Grade 2에서 13.0%, Grade 3에서 17.9%, Grade 4에서 25.4% 감소하고 유효선량도 Grade 1에서 37.5%, Grade 2에서 14.3%, Grade 3에서 16.7%, Grade 4에서 23.8% 감소하여 Grade 2의 경우를 제외하고는 모든 BMI에서 피폭선량이 유의하게 감소하였다. 이는 과거의 연구들과 비슷한 결과로 Pflederer et al.[20]은 체중 85kg 이하인 환자는 관전압 100kVp로 촬영한 심장 CT검사와 120kVp로 촬영한 심장 CT검사 간에 영상 화질에 차이가 없이 관전압을 낮춤으로써 환자가 받는 방사선 피폭선량을 38.6% 줄일 수 있었다고 보고하였다. 또한 Alkadhi et al[11]은 BMI 및 심박동수에 따라 관전압과 관전류, 심동조화를 서로 다른 다섯 개 프로토콜로 세분하여 촬영

한 결과 각 검사 프로토콜 간에 영상의 화질에는 유의한 차이가 없었으며, 120kVp, 330mAs, 후향적 심동조화를 사용한 기존의 검사 프로토콜에 비하여 BMI가  $25\text{kg}/\text{m}^2$  미만에서 심박동수가 분당 70회 이하인 그룹에서 100kVp 190mAs, 전향적 심동조화 프로토콜을 사용하여 방사선 피폭이 86% 감소하였다고 보고하였다.

BMI의 세부적인 지표에 따른 수동노출조절 방법과 자동노출조절 방법의 SNR과 CNR의 비교에서 Grade 1에서 자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 영상의 잡음이 증가하여 영상의 SNR은 15.2%, CNR은 28.8%의 감소를 보였다. 그러나 영상의 주관적 평가에서는 통계적으로 유의하지는 않았으나 자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 좋은 영상의 질을 보였다. 이러한 결과는 요오드화 조영제에 의한 효과로 설명될 수 있는데 요오드는 원자번호가 높기 때문에 낮은 X-선 에너지일수록 요오드 조영제액이 통과하는 혈관의 X-선 투과 효과를 감쇠시키므로 관전압을 낮추어 CT촬영을 시행할 경우 요오드 조영제의 조영증강을 증가시킨다[21][22]. 즉, 낮은 관전압으로 심장 CT검사를 시행하게 되면 영상잡음이 높아져 영상의 화질이 저하될 수 있지만 혈관 내 조영증강 역시 함께 높아져 자동노출조절 방법으로 시행한 심장 CT의 SNR과 CNR의 감소가 있음에도 불구하고 영상의 주관적인 평가에 있어서 자동노출조절 방법과 수동노출조절 방법의 차이가 없을 수 있다. 따라서 Grade 1에서 자동노출조절 방법이 영상의 객관적 평가에서는 감소하지만 주관적 평가에서는 큰 차이 없이 피폭선량을 감소하여 수동노출조절 방법을 대신하여 사용될 수 있을 것으로 보인다. Grade 2에서는 자동노출조절 방법을 이용하였을 때 수동노출조절 방법에 비해 관전압은 100kV에서  $92.6 \pm 13.7\text{kV}$ 로 7.4% 감소하고 영상의 잡음은 증가하여 SNR은 1.2%, CNR은 8%, CTDI<sub>vol</sub>은 13.0%, 유효선량은 14.3% 감소하였으나 통계적으로 유의하지 않았다. Grade 2에서는 자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 약간의 관전압의 감소 이외에는 별다른 차이가 없었다. 이러한 결과는 Park YJ et al[18]에서와 같았으며 이는 Grade 2에서도 자동노출조절 방법이 영상의 객관적 평가에서는 약간 감소하지만 주관적 평가에

차이 없이 피폭선량을 감소하여 수동노출조절 방법을 대신하여 사용될 수 있을 것으로 보인다. Grade 3에서는 자동노출조절 방법을 이용하였을 때 수동노출조절 방법에 비해 관전압은 14.7%, CTDI<sub>vol</sub>은 17.9%, 유효선량은 16.7% 유의하게 감소하였다. SNR은 심장 각 부위별 평균 CT 값은 증가하고 영상의 잡음이 감소하여 SNR이 9.6% 유의하게 증가하였으나 CNR과 영상의 주관적 평가에 두 그룹간의 유의한 차이는 없었다. 이는 Grade 3에서도 자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 영상의 주관적 평가와 CNR에 차이 없이 SNR의 증가와 피폭선량의 감소를 가져와 더 유용한 것으로 판단된다. Grade 4에서는 자동노출조절 방법을 이용하였을 때 수동노출조절 방법에 비해 관전압, CTDI<sub>vol</sub>, 유효선량이 각각 19.1%, 25.4%, 23.8%로 유의하게 감소하였다. SNR과 CNR은 영상잡음에 비해 심장 각 부위별 평균 CT 값이 증가하여 자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 증가를 보였으나 유의하지 않았고, 영상의 주관적 평가도 유의한 차이가 없었다. 이는 Grade 4에서도 자동노출조절 방법이 수동노출조절 방법에 비해 영상의 주관적 평가와 SNR, CNR에 차이 없이 피폭선량의 감소를 가져와 더 유용한 것으로 판단된다. 결과적으로 Grade 1, Grade 2, Grade 3 및 Grade 4에서 자동노출조절 방법을 이용하였을 때 수동노출조절 방법에 비해 피폭선량은 효과적으로 감소하면서 영상의 평가에는 차이가 없었다. 따라서 자동노출조절 방법을 사용하였을 때 모든 BMI에서 영상의 주관적 평가의 유의한 차이가 없이 저관전압으로 CT검사가 진행되어 환자가 받는 방사선 피폭선량을 줄일 수 있었다. 통계적으로 유의하지는 않았지만 Grade 3 및 Grade 4에서 영상의 객관적인 평가도 더 좋아져 BMI 별 등급이 증가하면서 영상의 잡음이 증가하여 영상의 화질이 떨어지는 CT검사 고유의 단점을 보완할 수 있는 방법이 될 수 있다. 하지만 Grade 1에서는 영상 잡음의 증가로 영상의 객관적 평가가 감소하였고 이는 자동노출조절 방법이 Grade 1에게는 방사선 피폭을 감소시키는 데에는 유리하지만 영상적인 측면에서는 다소 부족함이 있다고 하겠다. 이에 자동노출조절 방법은 BMI가 낮은 환자보다는 높은 환자인 Grade 3 및 Grade 4에

더 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 첫 번째는 calcium scoring scan 영상 등 조영증강 전 검사의 방사선량은 고려 없이 조영증강 심장 CT검사에만 국한적으로 방사선량을 평가하였다. 두 번째는 동양인의 체형상 고도비만 환자가 적을 뿐만 아니라 FLASH mode를 적용할 수 있는 심박동수 및 심박동이 안정된 환자가 부족하였다. 실제 본 병원에서도 대략 1년 8개월가량의 심장검사를 시행한 환자 중 대상자는 0.7%에 불과했다. 세 번째는 FLASH mode 이외의 검사방법으로 심장 CT검사를 시행한 환자는 배제시킨 점인데, 이는 검사 방법의 일관성을 주기 위함이다. 네 번째는 영상의 질만 평가했을 뿐 심장 질환에 대한 진단적 정확도를 분석하지 않았다. 이에 향후 지속적인 데이터 수집과 연구로 심장 질환을 앓고 있는 환자, 고도비만 환자, 다른 검사 방법을 이용한 심장 CT검사를 시행한 군과의 비교가 필요할 것으로 보인다.

## V. 결론

자동노출조절 방법은 수동노출조절 방법에 비해 모든 BMI에서 영상의 주관적 평가의 유의한 차이가 없었으나 관전압 및 피폭선량은 감소하였다. 또한 통계적으로 유의하지는 않았지만 비만 및 고도비만 대상자에서 영상의 객관적인 평가도 더 좋아져 자동노출조절 방법은 BMI가 낮은 환자보다는 높은 비만 및 고도비만 환자에서 더 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

결론적으로 자동노출조절 방법은 수동노출조절 방법에 비해 영상의 주관적 평가는 변하지 않으면서도 피폭선량을 줄일 수 있는 유용한 방법으로 나타났다. 향후 자동노출조절 방법은 보다 낮은 선량으로 수동노출조절 방법을 대신하여 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] N. R. Mollet, F. Cademartiri, C. A. van Mieghem,

- G. Runza, E. P. McFadden, and T. Banks, High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography, *Circulation*, Vol.112, pp.2318-2323, 2005.
- [2] S. Leschka, H. Alkadhi, A. Plass, L. Desbiolles, J. Grunenfelder, and B. Marincek, Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience, *Eur Heart J*, Vol.26, pp.1482-1487, 2005.
- [3] L. Husmann, T. Schepis, H. Scheffel, O. Gaemperli, S. Leschka, and I. Valenta, Comparison of diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography in patients with low, intermediate, and high cardiovascular risk, *Acad Radiol*, Vol.15, pp.452-461, 2008.
- [4] J. Hausleiter, T. Meyer, M. Hadamitzky, E. Huber, M. Zankl, and S. Martinoff, Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose estimates, *Circulation*, Vol.113, pp.1305-1310, 2006.
- [5] S. Leschka, P. Stolzmann, F. T. Schmid, H. Scheffel, B. Stinn, and B. Marincek, Low kilovoltage cardiac dual-source CT: attenuation, noise, and radiation dose, *Eur Radiol*, Vol.18, pp.1809-1817, 2008.
- [6] Z. Szucs-Farkas, L. Kurmann, T. Strautz, M. A. Patak, P. Vock, and S. T. Schindera, Patient exposure and image quality of low-dose pulmonary computed tomography angiography: comparison of 100- and 80-kVp protocols, *Invest Radiol*, Vol.43, pp.871-876, 2008.
- [7] B. Bischoff, F. Hein, T. Meyer, M. Hadamitzky, S. Martinoff, A. Schomig, and J. Hausleiter, Impact of a reduced tube voltage on CT angiography and radiation dose: results of the PROTECTION I study, *JACC Cardiovasc Imaging*, Vol.2, pp.940-946, 2009.
- [8] H. T. Abada, C. Larchez, B. Daoud, A. Sigal-Cinquabre, and J. F. Paul, MDCT of the coronary arteries: feasibility of low-dose CT with ECG-pulsed tube current modulation to reduce radiation dose, *AJR Am J Roentgenol*, Vol.186, pp.387-390, 2006.
- [9] J. Hausleiter, S. Martinoff, M. Hadamitzky, E. Martuscelli, I. Pschierer, G. M. Feuchtnr, P. Catalan-Sanz, B. Czermak, T. S. Meyer, F. Hein, B. Bischoff, M. Kuse, A. Schomig, and S. Achenbach, Image quality and radiation exposure with a low tube voltage protocol for coronary CT angiography results of the PROTECTION II Trial, *JACC Cardiovasc Imaging*, Vol.3, pp.1113-1123, 2010.
- [10] T. R. Johnson, K. Nikolaou, and S. Busch, Diagnostic accuracy of dual source computed tomography in the diagnosis of coronary artery disease, *Invest Radiol*, Vol.42, pp.684-691, 2007.
- [11] F. Tatsugami, L. Husmann, B. A. Herzog, N. Burkhard, I. Valenta, and O. Gaemperli, Evaluation of a body mass index-adapted protocol for low-dose 64-MDCT coronary angiography with prospective ECG triggering, *AJR Am J Roentgenol*, Vol.192, pp.635-638, 2009.
- [12] P. Stolzmann, S. Leschka, H. Scheffel, T. Krauss, L. Desbiolles, and A. Plass, Dual-source CT in step-and-shoot mode: noninvasive coronary angiography with low radiation dose, *Radiology*, Vol.249, pp.71-80, 2008.
- [13] H. Alkadhi, P. Stolzmann, H. Scheffel, L. Desbiolles, S. Baumuller, and A. Plass, Radiation dose of cardiac dual-source CT: the effect of tailoring the protocol to patient-



specific parameters, Eur J Radiol, Vol.68, pp.385-391, 2008.

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

[15] M. K. Kalra, M. M. Maher, T. L. Toth, B. Schmltdt, B. L. Westerman, H. T. Morgan, and S. Salnl, Techniques and Applications of Automatic Tube Current Modulation for CTI, Radiology, Vol.233, pp.649-657, 2004.

[16] T. H. Mulkens, P. Bellinck, and M. Baeyaert, Use of an automatic exposure control mechanism for dose optimization in multi-detector row CT examinations: clinical evaluation, Radiology, Vol.237, pp.213-223, 2005.

[17] L. Yu, H. Li, J. G. Fletcher, C. H. McCulloug, Automatic selection of tube potential for radiation dose reduction in CT: a general strategy, Med Phys, Vol.37, No.1, pp.234-243, 2010.

[18] Y. J. Park, Y. J. Kim, J. W. Lee, H. Y. Kim, Y. J. Hong, H. J. LEE, Automatic Tube Potential Selection With Tube Current Modulation (APSCM) in coronary CT angiography: Comparison of image quality and radiation dose with conventional body mass index-based protocol, Journal of Cardiovascular Computed Tomography, Vol.6, pp.184-190, 2012.

[19] 서재현, 김영덕, 정창기, 이종호, 유명송, Dual Source CT에서 관상동맥 검사시 환자의 피폭선량 감소에 대한 연구, 대한전산화단증기술훈회지, Vol.14, No.1, pp.219-225, 2012.

[20] T. Pflederer, L. Rudofsky, D. Ropers, S. Bachmann, M. Marwan, and W. G. Daniel, Image quality in a low radiation exposure protocol for retrospectively ECG-gated coronary CT angiography, AJR Am J Roentgenol,

Vol.192, pp.1045-1050, 2009.

[21] A. B. Sigal-Cinqualbre, R. Hennequin, H. T. Abada, X. Chen, and J. F. Paul, Low-kilovoltage multi-detector row chest CT in adults: feasibility and effect on image quality and iodine dose, Radiology, Vol.231, pp.169-174, 2004.

[22] Y. Nakayama, K. Awai, Y. Funama, M. Hatemura, M. Imuta, and T. Nakaura, Abdominal CT with low tube voltage: preliminary observations about radiation dose, contrast enhancement, image quality, and noise, Radiology, Vol.237, pp.945-951, 2005.

저 자 소 개

김형진(Hyeong-Jin Kim)

준회원



- 2003년 2월 : 서남대학교(이학사)
- 2013년 2월 : 동신대학교 방사선 물리학(이학석사)
- 2002년 ~ 2004년 : 순천한국병원 영상의학과
- 2004년 ~ 현재 : 화순전남대학교병원 영상의학과  
<관심분야> : 방사선물리

문일봉(Il-Bong Moon)

중신회원



- 2007년 2월 : 전남대학교 보건학 협동과정(보건학석사)
- 2011년 8월 : 전남대학교 보건학 협동과정(보건학박사)
- 2001년 ~ 2013년 : 전남대학교 병원 영상의학과
- 2013년 ~ 현재 : 광주보건대학교 방사선과 교수  
<관심분야> : 보건의료콘텐츠, 보건통계학

한 재 복(Jae-Bok Han)

정회원



- 2001년 2월 : 호남대학교 컴퓨터 공학과(공학사)
- 2003년 2월 : 전남대학교 전자공학과(공학석사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 전자공학과 박사과정
- 2009년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 방사선학과 교수  
<관심분야> : 객체분할, 의료영상압축

최 남 길(Nam-Gil Choi)

정회원



- 1989년 8월 : 조선대학교 대학원 화공식품전공(공학석사)
- 2009년 8월 : 동신대학교대학원 방사선물리학과(이학박사)
- 1980년 ~ 2011년 : 전남대학교 병원 영상의학과
- 2011년 ~ 현재 : 동신대학교 방사선학과 교수  
<관심분야> : 보건통계, 방사선물리

장 성 주(Seong-Joo Jang)

정회원



- 1981년 2월 : 전남대학교 물리학과(이학사)
- 1988년 2월 : 전남대학교 대학원 물리학과(이학박사)
- 1988년 ~ 현재 : 동신대학교 방사선학과 교수  
<관심분야> : 방사선계측, 방사선물리