

## 64 채널 Multi-Detector Computed Tomography를 이용한 관상동맥검사의 선량 : 검사 프로토콜 다변화에 따른 환자선량 감소

— Doses of Coronary Study in 64 Channel Multi-Detector Computed Tomography :  
Reduced Radiation Dose According to Variety of Examination Protocols —

삼성서울병원 영상의학과

김 문 찬

### — 국문초록 —

MDCT의 시간분해능 향상과 등방성 해상능(isotropic resolution) 영상의 획득, 그리고 지능적인 심전도 동조를 바탕으로 하여 심혈관 질환의 효과적인 진단검사로 인정받고 있는 후향적 심전도 동조화(retrospective ECG gating) 하의 coronary CT angiography는 상대적으로 많은 환자선량을 제공함으로써 인해 우수한 진단방법으로서의 장점을 반감시키고 있다. 이에 각 장치 제조사에서는 환자선량을 감소시키는 방법의 연구가 활성화되어 왔으며, 이의 일환으로 지능적인 cardiac dose modulation 기술과 전향적 심전도 동조화(prospective ECG gating)를 사용한 sequential scan이 도입되고 있다. 이에 본 연구에서는 64 채널 MDCT에서 54 kg, 163 cm 인 여성 인체모형팬텀을 대상으로 하고 형광유리선량계를 사용하여 후향적 심전도 동조화 하의 coronary CT angiography 프로토콜에서 환자선량의 정량적 평가와 환자선량 감소를 위해 본원에서 선택적으로 적용하고 있는 5가지 검사 프로토콜을 적용하였을 경우의 effective dose와 중요 부위의 organ dose를 측정 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) Dose modulation없이 120 kVp와 210 mAs의 노출조건으로 retrospectively ECG gated helical scan으로 시행한 conventional coronary CT angiography 프로토콜의 effective dose는 17.8 mSv였으며, 심장의 organ dose는 103.8 mGy였다.
- 2) 관전압을 120 kVp에서 100 kVp로 낮추었을 경우 effective dose는 11.0 mSv로 conventional coronary CT에 비해 38.2%가 감소하였으며, 심장은 67.3 mGy로 45.2%가 감소하였다.
- 3) Cardiac dose modulation을 적용한 경우 effective dose는 13.3 mSv로 conventional coronary CT에 비해 25.3%가 감소하였으며, 심장은 80.0 mGy로 22.9%가 감소하였다.
- 4) 100 kVp의 저관전압과 cardiac dose modulation을 적용한 경우 effective dose는 8.1 mSv로 conventional coronary CT angiography에 비해 54.5%가 감소하였으며, 심장은 49.5 mGy로 52.3%가 감소하였다.

\*접수일(2009년 3월 5일), 1차심사(2009년 5월 7일), 2차심사(2009년 8월 7일),  
확정일(2009년 8월 27일)

책임저자: 김문찬, (135-710) 서울시 강남구 일원동 50  
삼성서울병원 영상의학과  
TEL: 02-3410-0376, FAX: 02-3410-0014  
E-mail: chanmoonkim@hanmail.net

- 5) Prospective ECG gating을 사용한 sequential scan을 시행하였을 때 effective dose는 4.9 mSv로 conventional coronary CT에 비해 72.5%가 감소하였으며, 심장은 33.8 mGy로 67.4%가 감소하였다.
- 6) 100 kVp의 저관전압과 sequential scan을 적용하였을 때 effective dose는 3.0 mSv로 conventional coronary CT angiography에 비해 83.2%가 감소하였으며, 심장은 17.7 mGy로 82.9%가 감소하였다.

**중심 단어:** ECG gating, cardiac dose modulation, effective dose, organ dose

## I. 서 론

1990년대 후반 multi-detector computed tomography (이하 MDCT)의 출현은 검사시간의 단축과 고해상도의 얇은 단면을 이용한 재구성 영상을 제공함으로써 특히 척추 및 사지 부위, 동맥조영 CT, 그리고 심장혈관검사의 진단 정밀성을 더욱 높였다. 하지만 over-radiation의 발생과 다방면 재구성의 일반화에 의해 시행되는 얇은 단면의 겹침 스캔은 환자선량을 더욱 증가시키는 요인이 되고 있다<sup>1)</sup>. 특히 기존의 일반적인 coronary CT angiography (이하 coronary CTA)에서는 양질의 영상획득을 위한 후향적 심전도 동조화(retrospective ECG gating)와 낮은 helical pitch의 적용은 동일 부위를 3~5회 방사선에 노출시키고 있는 실정이다. 전통적으로 CT 검사는 중재적 시술과 방사선 치료와 함께 많은 환자선량을 제공하는 대표적인 진단영상검사로 규정되고 있으며<sup>2)</sup>, UN 방사선영향과학위원회(UNSCEAR)의 2000년 보고에 의하면 CT 검사가 전체 의료용 X-선 검사의 5%에 해당되지만 X-선 검사의 집단선량(collective dose to population)의 34%에 해당된다고 하였다<sup>3)</sup>. 또한 복부 CT의 effective dose는 흉부 X-선 검사의 500배이며 3.3년 동안 받는 자연방사선량과 동일하다고 하였다<sup>3)</sup>. 이러한 측면에서 제조사별로 다소 차이는 있지만 cardiac CT를 비롯해 많은 노출을 필요로 하는 CT 검사의 선량을 감소시킬 수 있는 방법에 대한 지속적인 연구와 개발이 이루어지고 있다. Cardiac 전용 필터링의 추가, beam coverage의 확대를 통한 axial scan의 적용, 심장의 움직임 주기에 따른 X-선 노출의 조절 등이 이에 해당된다. 또한 장치 사용자에 의한 coronary CTA 검사 시 환자에게 부과되는 선량에 관련된 평가 및 선량감소를 위한 연구는 최근 활발히 이루어져 왔으나, 대부분 장치 제조사에 의해 이미 설정되어 제시되는 CT dose index나 dose length product에 의존하고 있다. 이를 바탕으로 계산된 환자선량은 사용자

에 의해 실제 측정에 의해 얻어진 값이 아니라 다소 불확실성을 내포하고 있다. 이러한 제한점을 보완하기 위해서는 계산에 의한 effective dose 외에 CT 검사 시 주선속 부위에 속하는 organ doses의 측정이 보완되어야 한다고 여겨진다.

이에 연구자는 64 슬라이스 CT를 이용한 일반적인 coronary CTA 프로토콜에서의 환자선량의 정량적 평가와 선량 감소를 위해 본원에서 선택적으로 추가 적용하고 있는 5가지 검사 프로토콜을 적용하였을 경우 effective dose와 organ dose의 두 가지 선량 측면에서 감소효과를 평가하고자 하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 재료 및 장비

CT 장치는 갠트리 일 회전에 최대 64 슬라이스 획득이 가능한 CT LightSpeed VCT XT(General Electric Medical Systems, Milwaukee, USA)를 사용하였으며, organ dose 측정을 위해서는 Rando 여성팬텀(Model RAN-110, Churchin Associate LTD., USA)과 형광유리 선량계인 Dose Ace(Model GD-352M and FGD-1000 reader, Asahi Techno Glass Cooperation, Shizuoka, Japan)를 사용하였다.

### 2. 선량 측정

#### 1) 형광유리선량계의 calibration

표준선원인 <sup>137</sup>Cs 감마선을 이용하여 선원에서 100 cm의 거리에 형광유리선량계(standard glass)를 위치시키고 6 mGy로 표준 조사하여 calibration을 시행하였으며, 6.19 mGy(1.03%)의 calibration factor를 얻었다.

## 2) 스캔 방법

80 kVp와 10 mA의 조건으로 frontal 및 lateral projection의 scout image를 얻었으며, main coronary scan에서는 0.35초의 tube rotation time과 40 mm의 beam collimation(0.625 mm×64), 32 cm 직경의 small scan field of view를 사용하였으며, scan length는 105 mm로 설정하였다. 그리고 심전도 동조한 팬텀의 심박동수는 60 bpm으로 고정시켰다. 후향적 심전도 동조화 하에서의 helical scan에서의 pitch는 0.22를 적용하였으며, dose modulation을 적용하지 않은 실험에서는 노출 조건을 210 mAs로 설정하였고, dose modulation을 적용한 경우에는 R-R interval의 40~80% 범위에서 peak mA(600 mA)를 설정하였으며 나머지 부위에서는 20%(120 mA)로 줄였다. Sequential scan에서는 cardiac cycle의 이완기의 중간 부위인 75%의 R-R interval에서 영상을 획득하였다. Volume coverage를 40 mm(64×0.625 mm), axial scan 사이의 테이블 이동을 35 mm로 하여 5 mm의 중복 스캔이 이루어지도록 하였으며, padding은 장치 제조사에서 제시하는 값인 120 msec로 설정하였다(이 경우 각 phase의 63%에서 87%의 R-R interval에서 영상획득이 가능함). 120 kVp, 600 mA, 0.35초의 constant mAs technique를 적용하고 dose modulation 기법을 적용하지 않은 상태에서 후향적 심전도 동조화 하에서 helical scan으로 시행하는 기존의 일반적인 coronary CTA(이하 conventional CTA) 프로토콜에서의 선량을 기준으로 하였으며, 실험연구의 변수로는 3가지를 적용하였다. 즉, 저관전압인 100 kVp의 적용, cardiac dose modulation(ECG modulation)의 적용, 그리고 전향적 심전도 동조화(prospective ECG gating)를 사용하는 sequential scan(Snapshot pulse mode)을 적용하여 총 6가지로 구분하여 실험을 진행하였다. 측정값의 오차를 줄이기 위해 각 변수별 실험에서 2회의 반복 측정을 시행했다.

## 3) 측정 및 평가

Rando 팬텀과 형광 유리선량계를 사용하여 주선속 부위에 속하는 심장과 폐, 유방을 대상으로 organ dose를 측정하였다. 정확한 선량의 측정을 위해서 먼저 annealing 과정(섭씨 400°에서 30분 가열)을 시행한 후 background 값(30~40 μGy)을 측정하였으며, CT 스캔을 시행한 후 pre-heating 과정(pre-heating oven을 섭씨 70°로 조절한 후 30분 가열)을 거친 후 판독을 하였으며, 판독된

값에서 background 값을 감산하였다. Effective dose의 계산은 콘솔에 표시되는 dose length product(이하 DLP)에 EUR 16262에서 권고하는 흉부의 DLP당 유효선량비(region specific conversion factor, 0.017 mSv·mGy<sup>-1</sup>·cm<sup>-1</sup>)를 곱하여 계산하였다<sup>4)</sup>. 그 후 얻어진 데이터는 Microsoft사의 Excel 2000 프로그램을 이용하여 평균 및 표준편차 등을 표시하였고 이를 세분화하여 비교하였다. Table 1에 인체모형팬텀 내에 형광유리선량소자를 삽입하여 organ dose를 측정된 부위의 위치를 나타내었다.

**Table 1.** Locations used for organ dose measurements in Rando phantom with radio photo luminescence dosimeter

Organ	Measurement location (slice No. of phantom)	Distance from top of head (cm)	Distance from longitudinal midline (cm)	Depth from anterior surface of thorax (cm)
Heart	19	47.5	Rt. 2.2, Lt. 2.4	4.5
Lung	16	40	Rt. 5.8, Lt. 6.2	8.6
Breast	17	42.5	Rt. 8.4, Lt. 8.8	-1.0

## III. 결 과

### 1. 기존의 일반적인 검사방법(conventional retrospectively ECG gated helical scan mode)

120 kVp, 210 mAs의 constant mAs를 적용하고 dose modulation의 적용없이 후향적 심전도 동조화 하에서 helical scan으로 시행된 일반적인 coronary CT의 effective dose는 17.8 mSv였다. 그리고 심장의 organ dose는 103.8±2.2 mGy였으며, 폐와 유방은 각각 82.6±0.4 mGy와 65.5±1.8 mGy였다.

### 2. 저관전압 적용 시

상대적으로 저관전압인 100 kVp를 적용하고, 210 mAs의 조건으로 dose modulation의 적용없이 후향적 심전도 동조화 하에서 helical scan으로 시행된 coronary CT의 effective dose는 11.0 mSv였다. 그리고 심장의 organ dose는 67.3±1.4 mGy였으며, 폐와 유방은 각각 52.2±1.4 mGy, 45.7±2.4 mGy였다.

### 3. Cardiac dose modulation 적용 시

120 kVp를 사용하고 후향적 심전도 동조화 하에서 cardiac dose modulation(RR interval의 40~80% 범위에서 600 mA, 나머지 부위에서는 120 mA)을 적용한 상태에서 helical scan으로 coronary CT를 시행하였을 때 effective dose는 13.3 mSv였다. 그리고 심장의 organ dose는  $80.0 \pm 1.7$  mGy였으며, 폐와 유방은 각각  $69.8 \pm 0.2$  mGy,  $61.9 \pm 0.1$  mGy였다.

### 4. 저관전압과 cardiac dose modulation 적용 시

100 kVp를 사용하고 후향적 심전도 동조화 하에서 cardiac dose modulation(R-R interval의 40~80% 범위에서 600 mA, 나머지 부위에서는 120 mA)을 적용한 상태에서 helical scan으로 coronary CT를 시행하였을 때 effective dose는 8.1 mSv였다. 그리고 심장의 organ dose는  $49.5 \pm 1.7$  mGy였으며, 폐와 유방은 각각  $41.8 \pm 0.8$  mGy,  $34.2 \pm 0.2$  mGy였다.

### 5. Sequential scan mode 적용 시

120 kVp와 210 mAs의 노출조건을 적용하고 전향적 심전도 동조화 하에서 sequential scan mode로 75%의

R-R interval에서 영상을 획득하였을 때 effective dose는 4.9 mSv였다. 그리고 심장의 organ dose는  $33.8 \pm 2.2$  mGy였으며, 폐와 유방은 각각  $23.3 \pm 1.5$  mGy,  $16.9 \pm 0.7$  mGy였다.

### 6. 저관전압과 sequential scan 적용 시

100 kVp와 210 mAs의 노출조건을 적용하고 전향적 심전도 동조화 하에서 sequential scan mode로 75%의 R-R interval에서 영상을 획득하였을 때 effective dose는 3.0 mSv였다. 그리고 심장의 organ dose는  $17.7 \pm 0.1$  mGy였으며, 폐와 유방은 각각  $14.3 \pm 1.2$  mGy,  $13.1 \pm 1.6$  mGy였다.

## IV. 고 찰

관상동맥질환의 표준 진단법으로 이용되고 있는 카테터 삽입을 통한 직접 혈관조영술은 질환의 치료가 가능한 장점이 있지만 관상동맥 박리와 부정맥 등의 부작용이 있을 수 있으며 약 0.1%의 환자가 사망할 수 있는 대표적인 침습적 검사이며 시술을 위해서는 입원이 요구되는 불편이 있다<sup>5)</sup>. 이에 비해 최근 비침습적인 특성과 함께 시간분해능의 향상과 isotropic resolution 영상의 획득,

**Table 2.** Effective doses and organ doses to patients undergoing coronary CT examination in various protocols, measured by method using DLP region-specific converging factor and radio-photo luminescence dosimeter

	Effective dose (mSv)	Organ dose (mGy)		
		Heart	Lung	Breast
Conventional protocol (RGT <sup>a</sup> , 120 kVp)	17.8	$103.8 \pm 2.2$	$82.6 \pm 0.4$	$65.5 \pm 1.8$
Low kVp (RGT, 100 kVp)	11.0	$67.3 \pm 1.4$	$52.2 \pm 1.4$	$45.7 \pm 2.4$
Cardiac dose modulation (RGT, 120 kVp, 40~80%)	13.3	$80.0 \pm 1.7$	$69.8 \pm 0.2$	$61.9 \pm 0.1$
Low kVp & cardiac dose modulation (RGT, 100 kVp, 40~80%)	8.1	$49.5 \pm 1.7$	$41.8 \pm 0.8$	$34.2 \pm 0.2$
Sequential scan (PGT <sup>b</sup> , 120 kVp, 120 msec)	4.9	$33.8 \pm 2.2$	$23.3 \pm 1.5$	$16.9 \pm 0.7$
Low kVp & sequential scan (PGT, 100 kVp, 120 msec)	3.0	$17.7 \pm 0.1$	$14.3 \pm 1.2$	$13.1 \pm 1.6$

a : Retrospective gating

b : Prospective gating

그리고 지능적인 ECG gating 기술을 기초로 한 coronary CT angiography는 4 채널 또는 16 채널 MDCT에서 이미 관상동맥 branches가 50% 이상인 협착 진단에 82~95%의 민감도와 86~97%의 특이도를 보이고 있으며<sup>6,7)</sup> 심장의 기능적인 평가에도 효과적인 검사로 인정받고 있다<sup>8)</sup>. 하지만 coronary CT angiography는 부정맥 환자나 심박동수가 매우 빠른 환자의 경우 다소 영상의 질이 저하되는 단점을 보이며<sup>9)</sup>, 많은 환자선량을 제공함으로써 인하여 우수한 진단방법으로서의 장점을 반감시키고 있어 이를 감소시키는 방법의 연구가 불가피해졌으며, 국내외 여러 연구자에 의해 다양한 선량 비교와 감소방법 등이 보고 되어 왔다. 예를 들면, Kyong T Bae 등은 Siemens 사 Sensation 16 CT에서 retrospective EKG triggering을 적용하고 helical scan으로 시행된 coronary CT angiography에서의 CTDI<sub>VOL</sub>은 43.3 mGy, 유효선량은 8.8 mSv였다고 보고했으며<sup>10)</sup>, GE사의 LightSpeed Ultra 16에서 시행한 본인의 실험에 의하면, non-contrast calcium scoring CT(prospective EKG triggering, sequential scan)를 시행한 경우 heart의 평균 organ dose는 약 23 mGy였으며 lung의 평균 organ dose는 약 18 mGy였고, retrospective EKG triggering을 사용하고 0.3 pitch의 Snapshot burst 모드의 helical CT angiography를 시행한 경우 heart와 lung의 평균 organ doses는 각각 145 mGy와 119 mGy였으며, 이는 non-contrast calcium scoring CT에 비해 6.3~6.6배 많은 양이었다. 또한 Toshiba사의 Aquilion 64에서 시행된 2007년 남윤철 등의 연구에서는, 120 kVp와 160 mAs (400 mA×0.4 sec rotation time), 0.225 beam pitch, 32 mm beam collimation(64×0.5 mm)과 180 mm 또는 240 mm 직경의 scan field of view를 적용하고 retrospective EKG triggering을 사용한 helical scan에서의 coronary CT angiography 시행 시 heart의 organ dose는 98.4 mGy였으며, effective dose는 16.1 mSv였다고 보고되었다<sup>11)</sup>.

그리고 conventional coronary scan과 sequential scan의 선량을 비교한 예를 살펴보면, GE사 64 채널 MDCT에서 총 203명의 환자를 대상으로 시행된 coronary CT angiography에서 prospectively gated sequential scan(82명)과 cardiac modulation을 적용한 retrospectively gated helical scan(121명)의 선량과 영상의 질을 비교하여 2008년 Radiology에 발표한 James P Earls 등은 동일한 scan length로 계산한 경우 prospectively gated sequential scan 시 평균 effective

dose는 2.8 mSv로 17.1 mSv를 나타낸 후향적 심전도 동조화에서의 helical scan에 비해 약 84%의 감소를 나타내었고, 평균 CTDI<sub>VOL</sub>은 13.0 mGy로 67.6 mGy를 나타낸 후향적 심전도 동조화 하의 helical scan에 비해 약 81%가 감소했다고 하였다. 그리고 관상동맥들의 image quality scores 측면에서도 전향적 심전도 동조화 하의 sequential scan이 cardiac modulation을 적용한 retrospectively gated helical scan에 비해 유의하게 우수했다<sup>12)</sup>고 하였다. 또한 동일한 CT 기종과 방법으로 54명의 환자를 대상으로 시행한 William P Shuman 등의 연구에서도 prospectively gated sequential scan 시의 dose는 4.2 mSv로 18.1 mSv를 나타낸 후향적 심전도 동조화 하의 helical scan에 비해 약 77%의 감소를 나타내었다<sup>13)</sup>고 보고되었다.

본 연구의 결과로 얻어진 conventional coronary scan 프로토콜에서의 effective dose와 heart의 organ dose는 각각 17.8 mSv와 103.8 mGy를 나타냈다. 그리고 sequential scan 프로토콜(120 kVp, 210 mAs, 75%의 R-R interval)의 경우 각각 4.9 mSv와 33.8 mGy를 나타냈는데, 이는 conventional coronary scan에 비해 약 73%의 effective dose와 약 67%의 heart dose를 감소시켰다. 또한 저관전압의 sequential scan mode에서는 3.0 mSv와 17.7 mGy를 나타냈는데, 이는 conventional coronary scan에 비해 약 83%의 effective dose와 heart organ dose를 감소시켰다. 이러한 측정값들은 앞에서 타 연구자들에 의해 제시된 conventional coronary scan과 sequential scan의 선량 비교와 큰 차이가 없음을 알 수 있으며, 본원의 동일 CT 장치에서 시행되고 있는 chest routine CT(pre- & post-contrast scan)에서의 effective dose와 lung의 organ dose가 각각 8.8 mSv와 24.5 mGy 임을 감안할 때 저관전압을 적용한 sequential scan mode의 coronary CT angiography는 chest routine CT에도 못 미치는 적은 선량을 부과하는 검사임을 알 수 있다.

본 연구에서 측정된 선량은 실제 coronary CT angiography에서 포함되어야 하는 test bolus scan과 부분적으로 시행되고 있는 calcium scoring study의 선량이 제외되어 과소평가된 점이 없지 않다. 하지만 이들의 선량은 전체 coronary CT angiography 선량의 10% 내지 15%의 수준에 불과하였다. 이러한 점을 감안하더라도 본 연구에서 얻어진 coronary CT angiography에서의 3.0~17.7 mSv는 인체장해를 일으킬 수 있는 저선량 방사선의 한계인 1회 노출 시 약 100 mSv<sup>14)</sup>에 훨씬 미치지 못

하는 수준이다. 하지만 흉부 일반방사선촬영(chest PA)과 복부 일반방사선촬영(abdomen AP)에서 받는 0.02 mSv와 0.7 mSv의 선량<sup>15)</sup>에 비교하면 많은 양임에 틀림없다.

최근 들어 장치 제조사에서는 detector 및 data acquisition electronics의 지속적인 성능개선을 통해 신호대 잡음비(signal-to-noise)를 향상시키고 노이즈를 감소시켜 영상의 질을 향상시키고 부과되는 노출의 감소를 통한 환자선량 감소에 노력하고 있다. 특히 cardiac CT에서는 지능적인 ECG gating을 통해 영상화에 불필요한 심박동기에서의 노출감소를 통한 cardiac dose modulation 기술을 향상시키고 있다. 하지만 이는 functional imaging에는 제한적인 요소로 작용하므로 사용에 신중을 기해야 한다. 또한 하드웨어적으로 cardiac 전용 bow-tie filter를 채택하거나, helical scan 시 비대칭적으로 개폐되는 collimation을 적용함으로써 설정된 스캔 부위의 양 끝단에서 발생하는 불필요한 over-radiation을 감소시키는 adaptive collimation(adaptive dose shield)을 개발하여 적용하고 있다. 이는 느린 테이블 이동과 짧은 길이의 스캔에서 성인의 경우 20%, 소아의 경우 40% 정도의 피폭감소 효과를 제공한다<sup>16)</sup>. 그리고 최근에 도입되기 시작한 high version CT 장치에서는 전향적 심전도 동조화의 sequential scan을 도입하여 cardiac CT의 환자선량을 획기적으로 감소시키고 있다. 하지만 아직까지는 상대적으로 낮은 심박동수의 환자에 부분적으로 적용하고 있는 상태이다. 이러한 추세에 맞추어 장치 사용자들은 작은 크기의 조사야를 사용하고 심장을 조사야의 중앙에 가깝게 위치시킴으로써 scan angle의 감소를 통해 피부나 유방의 피폭을 감소시켜야 하며, anatomical edges를 유지시킬 수 있는 범위 내에서의 edge-preserving image filtering을 사용해야 한다.

특히 가냘픈 성인이나 소아의 cardiac CT 검사에서 약간의 노이즈 증가를 감수하고 조영증강을 향상시킬 수 있는 100 kVp의 저관전압을 적용을 더욱 확대해야 하며 영상 진단의 질적 저하를 유발시키지 않는 범위 내에서 전향적 동조화의 sequential scan을 이용한 cardiac CT의 적용범위를 넓혀야 할 것이다.

더불어 본 연구는 각 coronary CT 검사 프로토콜을 채택 시 환자선량의 변화를 관찰하고 저선량 검사 프로토콜의 적용에 따른 환자선량의 감소 정도를 파악하였으나 인체모형팬텀을 이용하였고 조영제가 충전된 상황에서 미세혈관의 관찰이 필요한 coronary artery CT angiography라는 특수성으로 인해 image quality 측면이 배제된 상태에서 연구가 이루어진 한계성을 갖는다. 또한 최근 각

병원에서 활발하게 적용을 넓히고 있는 sequential scan의 경우 padding의 다양화와 cardiac dose modulation 적용 시 full mA range의 설정 변화에 따른 image quality 및 선량 추이에 대해 더욱 깊이 있는 실험연구도 필요하리라 생각된다.

## V. 결 론

64 채널 MDCT에서 54 kg, 163 cm인 여성 인체모형팬텀을 대상으로 한 conventional coronary CT angiography의 effective dose는 17.8 mSv였으며, 100 kVp의 저관전압과 cardiac dose modulation을 동시에 적용한 경우 8.1 mSv로 conventional coronary CT angiography에 비해 54.5%가 감소하였다. 또한 최근 관상동맥 screening 검사에 많이 이용되고 있는 prospective ECG gating 하에서 시행되는 sequential scan의 경우 effective dose는 4.9 mSv였다. 그리고 저관전압을 적용한 sequential scan에서는 3.0 mSv를 나타내었는데 이는 기본적인 conventional coronary CT angiography에 비해 83.2%의 선량감소 효과를 나타내었다.

Health effects에 미치는 저선량 이온화 방사선의 리스크에 관련된 비교적 최근 문헌인 “The National Research Council’s Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation”의 2005년 보고서에는 10 mSv의 선량은 1,000명 중 1명에서 lifetime cancers를 야기시킨다<sup>17)</sup>고 했다. 이 보고에 근거하면 본 연구에서 가장 많은 선량을 나타낸 retrospectively ECG gated conventional coronary CT angiography는 562명 중 1명에서 lifetime cancers가, 그리고 적용된 여러 프로토콜 중 최저 선량을 나타낸 저관전압의 sequential scan mode는 3,333명 중 1명에서 lifetime cancers가 야기될 수 있음을 의미한다. 비록 coronary CT angiography 시 환자가 받게 되는 선량은 Modan에 의해 제시된 1회 노출에서의 저선량 방사선의 한계인 100 mSv에 비하면 훨씬 적은 양이다. 하지만 관상동맥 질환자들은 생존기간 동안 여러 가지 방사선 검사를 중복적으로 받게 되므로 실질적으로 발암 리스크는 커질 수 있다. 그러므로 진단을 위해 실시되는 brain CT가 뇌종양을 유발시키는 원인이 될 수 있다<sup>18)</sup>는 Cohen의 경고를 깊이 새기며, CT 장치의 사용자들은 획득되는 영상정보와 피폭간의 이익 분석을 통해 가능한 적은 선량이 부과되는 coronary CT angiography 프로토콜을 채택하여야 한다. 특히 기능적인 평가

(functional cardiac study)가 배제되는 경우에는 cardiac dose modulation을 적용하여 불필요한 부위의 선량을 감소시키고, screening 목적의 검사에서는 sequential scan mode를, 그리고 얇은 두께의 환자의 경우 저관전압을 확대 적용하여 환자선량을 감소시켜야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Coles DR, Smail MA, Negus IS, et al : Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary and conventional diagnostic angiography, *J Am Coll Cardiol*, 47, 1840-1845, 2006
2. European Atomic Energy Community : NEW Euratom Directive 43, 1997
3. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2000 Report Volume 1, Source and effects of ionization radiation
4. Bongartz G, Golding SJ, Jurik AG, et al : European guidelines on image quality criteria for computed tomography, Report EUR 16262EN, Luxembourg, 1999, <http://www.drs.dk/guidelines/ct/quality/index.htm>
5. Reagan K, Boxt LM, Katz J : Introduction to coronary arteriography, *Radiol Clin North Am*, 322, 419-433, 1994
6. A F Kopp, S Schroeder, A Kuettner, et al : Non-invasive coronary angiography with high resolution multi-detector row computed tomography : Results in 102 patients, *European Heart Journal*, 23, 1714-1725, 2002
7. Koen Nieman, Filippo Cademartiri, Pedro A Lemos, et al : Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography, *Circulation ; Journal of the American heart association*, 106, 2051-2054, 2002
8. Mochizuki T, Murase K, Higashino H, et al : Two- and three-dimensional CT ventriculography : a new application of helical CT, *AJR* 174, 203-208, 2000
9. Juergens KU, Maintz D, Grude M, et al : Multi-detector row computed tomography of the heart : does a multi-segment reconstruction algorithm improve left ventricular volume measurement?, *Eur Radiol*, 15, 111-117, 2005
10. Kyong T Bae, et al : Radiation dose in multi-detector row computed tomography cardiac imaging, *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 19, 859-863, 2004
11. 남윤철, 김부환, 이민영 등 : Coronary CT 검사 시 SFOV 변화에 따른 환자선량 평가, *대한전산화단층기술헌회지*, 9, 1, 47-53, 2007
12. James P Earls, Elise L Berman, Bruce A Urban, et al : Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique : Improved image quality and reduced radiation dose, *Radiology*, 246, volume 3, 2008
13. William P Shuman, Kelley R Branch, Janet May, et al : Prospective versus retrospective ECG gating for 64-detector CT of the coronary arteries : Comparison of image quality and patient radiation dose, <http://radiology.rsnajnl.org/cgi/content/full/2482072192v1>, 2008
14. Modan B : Increased risk of breast cancer after low-dose irradiation, *Lancet*, 1, 629-631, 1989
15. ImPACT : Image performance assessment of CT, 2002
16. Marla Lewis : RSNA 2007, <http://www.impactscan.org/rsna2007.htm>
17. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council : Health risks from exposure to low levels ionizing radiation : BEIR VII-phase 2, Washington, DC, National academies press, 2005
18. Cohen BL : Before it's too late ; The cancer risk from low dose radiation, New York : Plenum publishing corporation, 33, 1983

## • Abstract

## Doses of Coronary Study in 64 Channel Multi-Detector Computed Tomography : Reduced Radiation Dose According to Varity of Examination Protocols

Moon-Chan Kim

*Dept. of Diagnostic Radiology, Samsung Medical Center*

**Purpose** : To compare radiation dose for coronary CT angiography (CTA) obtained with 6 examination protocols such as a retrospectively ECG gated helical scan, a prospectively ECG gated sequential scan, low kVp technique, and cardiac dose modulation technique.

**Materials and Methods** : Coronary CTA was performed by using 6 current clinical protocols to evaluate effective dose and organ dose in primary beam area with anthropomorphic female phantom and glass dosimetric system in 64 channel multi-detector CT. After acquiring topograms of frontal and lateral projection with 80 kVp and 10 mA, main coronary scan was done with 0.35 sec tube rotation time, 40 mm collimation (0.625 mm×64 ea), small scan field of view (32 cm diameter), 105 mm scan length. Heart beat rate of phantom was maintained 60 bpm in ECG gating. In constant mAs technique 120 kVp, 600 mA was used, and 100 kVp for low kVp technique. In a retrospectively ECG gated helical CT technique 0.22 pitch was used, peak mA (600 mA) was adopted in range of 40~80% of R-R interval and 120mA(80% reduction) in others with cardiac dose modulation. And 210 mAs was used without cardiac dose modulation. In a prospectively ECG gated sequential CT technique data were acquired at 75% R-R interval (middle diastolic phase in cardiac cycle), and 120 msec additional padding of the tube-on time was used. For effective dose calculation region specific conversion factor of dose length product in thorax was used, which was recommended by EUR 16262.

**Results** : The mean effective dose for conventional coronary CTA without cardiac dose modulation in a retrospectively ECG gated helical scan was 17.8 mSv, and mean organ dose of heart was 103.8 mGy. With low kVp and cardiac dose modulation the mean effective dose showed 54.5% reduction, and heart dose showed 52.3% reduction, compared with that of conventional coronary CTA. And at the sequential scan(SnapShot pulse mode) under prospective ECG gating the mean effective dose was 4.9 mSv, this represents an 72.5% reduction compared with that of conventional coronary CTA. And heart dose was 33.8 mGy, this represents 67.4% reduction. In the sequential scan technique under prospective ECG gating with low kVp the mean effective dose was 3.0 mSv, this represents an 83.2% reduction compared with that of conventional coronary CTA. And heart dose was 17.7 mGy, this represents an 82.9% reduction.

**Conclusion** : In coronary CTA at retrospectively ECG gated helical scan, cardiac dose modulation technique using low kVp reduced dose to 50% above compared with the conventional helical scan. And the prospectively ECG gated sequential scan offers substantially reduced dose compared with the traditional retrospectively ECG gated helical scan.

**Key Words** : a retrospectively ECG gated helical scan, prospectively ECG gated sequential scan, cardiac dose modulation