

체질량 지수 및 관전압 변화에 따른 CT 관상동맥 조영술의 영상의 질 및 방사선 피폭량 비교¹

김 윤 경 · 김 유 경²

목적: 체질량 지수(Body mass index, 이하 BMI)와 관전압의 변화에 따른 CT 관상동맥 조영술(Coronary CT angiography, 이하 CCTA)의 영상의 질 및 방사선 피폭량에 대하여 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 64열 다중 검출 CT로 후향적 심동조화를 이용한 CCTA를 시행 받은 139명의 환자를 BMI 및 관전압에 따라 세 개의 군으로 나누었다(A군($n=48$), BMI < 25, 100 kVp; B군($n=45$), BMI > 25, 120 kVp; C군($n=46$), BMI < 25, 120 kVp). 대동맥 및 관상동맥 근위부의 조영 증강 정도와 잡음을 측정하였으며 관상동맥 9분절의 영상의 질을 1-5점으로 평가하였고 4점과 5점을 진단에 적합한 것으로 하였다. 각 환자군 간의 영상의 질 지표와 방사선 피폭량을 t-검정과 카이제곱 검정을 이용하여 비교하였다.

결과: 혈관의 조영 증강 정도는 A군에서 B군과 C군보다 높았다(group A, 592 ± 85 HU; group B, 437 ± 46 HU; group C, 469 ± 62 HU, $p < 0.001$). 영상 잡음은 A군과 B군 사이에는 유의한 차이가 없었으나(23 ± 5 HU와 22 ± 6 HU, $p=0.427$), A군에서 C군에 비해 유의하게 높았다(23 ± 5 HU와 17 ± 4 HU, $p < 0.001$). 신호 대 잡음 비는 평균 A군 24 ± 6 , B군 19 ± 3 , C군 27 ± 5 로 세 군 간에 각각 유의한 차이가 있었다. 조영 증강 대 잡음 비는 평균 A군 18 ± 5 , B군 14 ± 3 , C군 20 ± 4 로 A군에서 B군에 비해 유의하게 높았으나($p < 0.001$) A군과 C군 사이에는 유의한 차이가 없었다($p=0.127$). 진단에 적합한 영상을 보인 관상동맥 분절은 A군 97.9%, B군 96.0%, C군 99.0%였으며 영상 질의 평균 점수는 A군 4.5 ± 0.5 , B군 4.1 ± 0.4 , C군 4.2 ± 0.4 로 세 군 간에 각각 유의한 차이가 있었다($p < 0.001$). 유효 방사선량은 A군 8.5 ± 0.8 mSv, B군 14.3 ± 1.3 mSv, C군 14.9 ± 1.3 mSv로, A군이 다른 두 군에 비하여 약 42% 낮았다.

결론: BMI가 25 이하인 환자에서 관전압을 100 kVp로 낮추어 CCTA를 시행하는 경우 진단에 적절한 영상을 얻을 수 있으며 효과적으로 방사선 피폭량을 줄일 수 있다.

다중검출 CT (multidetector CT, 이하 MDCT)를 이용한 CT 관상동맥 조영술은 관상동맥 질환의 진단 및 선별검사로 그 정확도가 인정되고 있으며 사용 빈도 및 범위가 점차로 확대되고 있다(1-3). 그러나 CT 관상동맥 조영술은 다른 부위의 CT 검사보다 방사선 피폭량이 높다는 문제가 있으며 이를 극복하기 위한 CT 프로토콜과 방사선 피폭량의 관계에 관한 여러 연구가 있었다(4-6). 관전압을 낮추어 촬영하는 CT 관상동맥 조영술은 환자의 방사선 피폭량을 낮출 수 있는 유용한 방법 중 하나로서 대두하고 있으나 관전압을 낮출수록 영상 잡음

이 증가한다는 단점이 있으며 이러한 점은 특히 비만 환자에서 영상잡음이 크게 증가한다(6). 따라서 CT 관상동맥 조영술 시행 시 환자의 체질량 지수에 맞추어 서로 다른 관전압을 적용하는 프로토콜이 연구되고 있다(7-9). 최근의 이중-에너지(dual-source) CT나 전향적 심동조화를 이용한 연구에서 체질량 지수가 25 이하인 환자는 관전압을 120 kVp에서 100 kVp로 낮추어 촬영하여도 영상의 질 및 진단능에 유의한 차이가 없다는 보고가 있었다(7-9).

우리의 연구는 64열 다중 검출 CT로 후향적 심동조화를 이용한 연구로서, 본 연구의 목적은 체질량 지수가 25 이하로 낮은 환자에 있어서 관전압을 100 kVp로 낮추어 촬영한 CT 관상동맥 조영술의 영상의 질을 평가하고 관전압 120 kVp로 촬영

¹고려대학교 의과대학 영상의학교실

²이화여자대학교 의과대학 영상의학교실

이 논문은 2009년 4월 26일 접수하여 2009년 7월 26일에 채택되었음.

영한 CT 관상동맥 조영술과 비교하는 것이다. 또한, 관전압을 100 kVp로 낮추어 CT 관상동맥 조영술을 시행할 때 방사선 피폭량을 어느 정도 줄일 수 있는지 알아보고자 하였다.

대상과 방법

2008년 10월부터 2009년 3월까지 CT 관상동맥 조영술을 시행 받은 139명의 성인을 대상으로 후향적 연구를 하였다. 139명 중 여성은 41명, 남성은 98명이었으며, 연령분포는 28세에서 83세로 평균연령은 52.2세였다. CT 관상동맥 조영술을 시행 받은 이유는 건강검진 ($n=90$), 흉통 ($n=35$), 흉부 불편감 ($n=9$), 기타 ($n=5$) 등이었다. CT 촬영 시 측정된 신장과 체중을 바탕으로 체질량 지수를 계산하였으며, 체질량 지수가 25 이하인 환자는 94명, 체질량 지수 25 이상인 환자는 45명이었다. 체질량 지수가 25 이하인 환자 94명 중 2008년 11월 이후에 CT 관상동맥 조영술을 시행받은 환자 48명에서는 관전압을 100 kVp로 낮추어 촬영하였다. 환자를 다음과 같은 세 개의 군으로 나누었다: A군, 체질량 지수 25 이하이며 관전압 100 kVp로 촬영한 군 ($n=48$); B군, 체질량 지수 25 이상이며 관전압 120 kVp로 촬영한 군 ($n=45$); C군, 체질량 지수 25 이하이며 관전압 120 kVp로 촬영한 군 ($n=46$).

모든 환자에서 CT를 시행하기 1시간 전에 베타차단제인 propranolol(Pranol, Daewoong, Korea) 20 mg을 경구 투여하였고, 1시간 후 심박동수가 계속 분당 65회 이상으로 측정되면 20 mg을 추가로 투여하고 시행하였다. 추가적 투여 후에도 심박동 수가 분당 70회 이상으로 높게 측정되거나 부정맥을 보이는 환자에서는 CT 관상동맥 조영술을 시행하지 않았다. CT 촬영 직전에 nitroglycerin(Nitroglycerin, MyungMoon, Korea) 0.6 mg을 설하 투여하였다.

CT 촬영은 64열 다중 검출 CT(SOMATOM Sensation 64, Siemens Medical Solutions, Germany)를 이용하였으며, 후향적 심전도 동조화를 사용하였다. 관전압은 A군 100 kVp, B군과 C군은 120 kVp, 관전류 180 mAs, 검출기 폭조절은 64×0.6 mm, 겐트리 회전 시간은 370 msec, pitch 0.24로 촬영하였다. 18 게이지 카테터를 이용하여 상완정맥으로 70 ml의 비이온성 조영제(iopamidol, Iopamiro 370, Bracco, Milan, Italy)를 초당 4-5 mL 속도로 주입하고 이어서 20 mL의 생리식염수를 같은 속도로 주입하면서 상행대동맥에서 덩어리 추적(bolus tracking)을 실시하여 100 HU가

되는 시점으로부터 6초 후 영상을 얻기 시작하였다. 호흡 정지 하에 폐동맥간부터 심저까지 단면 영상을 얻었다.

영상의 재구성은 심장 재구성 소프트웨어(Syngo, Software Version 2006A, Siemens Medical Solutions, Germany)를 이용하여 재구성하였다. 65% RR 간격에서 영상을 재구성하여 평가하고 나서, 최적의 영상이 아닐 때는 다른 RR 간격에서 재구성하여 평가하였다.

영상의 질의 객관적 평가를 위해 대동맥 근위부, 좌주관상동맥, 좌전하행동맥 근위부, 및 우관상동맥 근위부에서 혈관의 조영 증강 정도와 잡음(noise), 신호 대 잡음 비(signal-to-noise ratio, SNR), 조영 증강 대 잡음 비(contrast-to-noise ratio, CNR)를 측정하였다. 잡음은 관심영역의 CT 음영(density)의 표준편차(standard deviation)로 정의하였다. 대동맥 근위부에는 3.0 cm^2 의 관심영역을 두어 측정하였으며 나머지 혈관에는 석회화와 동맥경화반을 피하여 가능한 한 큰 관심영역을 두고 측정하였다. 신호 대 잡음 비는 각 혈관의 CT 밀도(density)를 대동맥 근위부의 잡음으로 나눈 값으로 계산하였다. 조영 증강 대 잡음 비는 혈관의 CT density와 관상동맥 주변 심근의 CT density와의 차를 대동맥 근위부의 잡음으로 나눈 값으로 계산하였다. 영상의 질의 주관적 평가를 위해 관상동맥을 다음과 같이 9개의 분절로 나누어 분석하였다: 좌주관상동맥(LM), 좌전하행동맥의 근위부(pLAD), 중간부(mLAD), 및 원위부(dLAD), 좌회선동맥의 근위부(pLCX) 및 원위부(dLCX), 우관상동맥의 근위부(pRCA), 중간부(mRCA), 및 원위부(dRCA). 영상의 질은 다음과 같이 5단계로 구분하였으며 두 명의 영상의학과 의사가 협의로 분석하였다: 5점, 인공물이 없는 경우(혈관의 가장자리가 흐려짐 없이 뚜렷하게 보임); 4점, 경도의 인공물(혈관의 가장자리가 약간 흐리게 보임); 3점, 중등도 인공물(혈관의 가장자리가 심하게 흐려 보임); 2점, 심한 인공물(1점과 3점의 중간 정도); 1점, 심한 인공물로 인하여 혈관을 구별할 수 없음. 이 중 4점과 5점을 진단에 적절한 우수한 질의 영상으로 간주하였다.

세 환자군 간의 영상의 질 및 방사선 피폭량을 비교하였다. 유효추정방사선량(effective estimated dose)은 방사선량 \times 길이(dose-length product, DLP)에 흉부의 전환계수(conversion coefficient)인 0.017을 곱하여 환산하였다. 통계학적 분석은 환자 나이, 체질량 지수, 혈관 조영 증강 정도 및 잡음, 신호 대 잡음 비, 조영 증강 대 잡음 비, 방사선 피폭량, 영상 질 점수를 비교하기 위해 t-검정을 사용하였으며 각

Table 1. Patient Characteristics for the Three Groups

Characteristics	Group A ($n = 48$)	Group B ($n = 45$)	Group C ($n = 46$)	P Value		
	BMI < 25, 100 kVp	BMI > 25, 120 kVp	BMI < 25, 120 kVp	Group A vs Group B	Group A vs Group C	Group B vs Group C
No. of female/ male patients	14/34	15/30	12/34			
Age (year)	52.5 ± 11.5	53.4 ± 8.7	50.1 ± 10.6	.666	.494	.225
BMI (kg/m^2)	22.0 ± 1.6	28.0 ± 3.3	22.4 ± 1.4	< .001	.216	< .001
HR (bpm)	58.1 ± 4.5	58.9 ± 7.4	55.9 ± 5.9	.798	.376	.337

군 간의 진단에 적합한 관상동맥 분절 수 및 진단에 적합한 영상을 얻은 환자 수의 비교를 위해 카이제곱검정을 사용하였다. 체질량 지수와 혈관 조영 증강 정도 및 잡음과의 관계를 분석하기 위해 Pearson 상관분석을 사용하였다. 통계학적 유의수준은 0.05 미만으로 하였다.

결 과

환자군 간에 연령은 유의한 차이가 없었으며 A군과 C군 간에 체질량 지수는 유의한 차이가 없었다(group A, 22.0 ± 1.6 ; group C, 22.4 ± 1.4 , $p=0.216$). 각 군의 평균 체중은 A군 62.0 kg(44-78 kg), B군 76.5 kg(60-110 kg), C군 64.7 kg(50-79 kg)이었고, 평균 체중당 요오드 주입량은 A군 0.42 gI/kg, B군 0.34 gI/kg, C군 0.40 gI/kg이었다. 세 군의 평균 분당 심박동 수는 A군 58.1 ± 4.5 회(51-67 회), B군 58.9 ± 7.4 회(46-70회), C군 55.9 ± 5.9 회(47-66 회)로 유의한 차이가 없었다(Table 1). 혈관의 평균 조영 증강 정도는 100 kVp로 촬영한 A군에서 120 kVp로 촬영한 B군과 C군보다 유의하게 높게 나타났다(group A, 592 ± 85 HU; group B, 437 ± 46 HU; group C, 469 ± 62 HU; $p < 0.001$). 영상 잡음은 A군과 B군 사이에는 유의한 차이가 없었으나(23 ± 5 HU 와 22 ± 6 HU, $p=0.427$), A군에서 C군에 비해 유의하게 높았다(23 ± 5 HU 와 17 ± 4 HU, $p < 0.001$). 신호 대 잡음 비는 평균 A군 24 ± 6 , B군 19 ± 3 , C군 27 ± 5 로 세 군 간에 각각 유의한 차이가 있었다(p value; group A 와 group B, < 0.001 ; group A 와 group

C, 0.016; group B 와 group C, < 0.001). 조영 증강 대 잡음 비는 평균 A군 18 ± 5 , B군 14 ± 3 , C군 20 ± 4 로 A군에서 B군에 비해 유의하게 높았으나($p < 0.001$) A군과 C군

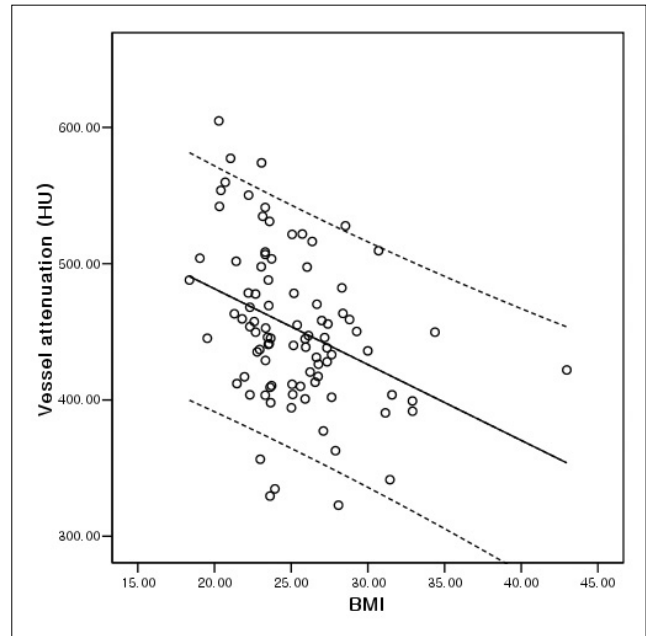


Fig 1. Linear regression plot of mean vessel attenuation against body mass index shows significant negative dependency ($r = -0.364$, $p < 0.001$). Solid line = mean; dashed lines = 95% confidence interval.

Table 2. Objective Image Quality Parameters in Three Groups

Parameter	Group A (n = 48)	Group B (n = 45)	Group C (n = 46)	P Value		
	BMI < 25, 100 kVp	BMI > 25, 120 kVp	BMI < 25, 120 kVp	Gr. A vs Gr. B	Gr. A vs Gr. C	Gr. B vs Gr. C
Attenuation (HU)						
Aorta	582 ± 86	441 ± 48	463 ± 61	$< .001$	$< .001$.062
LM	583 ± 91	442 ± 47	470 ± 61	$< .001$	$< .001$.013
pLAD	570 ± 83	430 ± 53	465 ± 65	$< .001$	$< .001$.005
pRCA	616 ± 98	431 ± 64	479 ± 81	$< .001$	$< .001$.002
Noise (HU)						
Aorta	26 ± 6	24 ± 5	18 ± 3	.085	$< .001$	$< .001$
LM	21 ± 7	22 ± 11	17 ± 8	.340	.015	.004
pLAD	23 ± 11	22 ± 9	17 ± 8	.534	.002	.007
pRCA	21 ± 10	20 ± 10	16 ± 10	.668	.037	.103
SNR						
Aorta	24 ± 6	19 ± 4	26 ± 5	$< .001$	0.017	$< .001$
LM	24 ± 6	19 ± 3	27 ± 5	$< .001$	0.011	$< .001$
pLAD	23 ± 6	19 ± 4	26 ± 5	$< .001$	0.006	$< .001$
pRCA	25 ± 7	19 ± 4	27 ± 6	$< .001$	0.088	$< .001$
CNR						
Aorta	18 ± 5	14 ± 3	20 ± 4	$< .001$	0.138	$< .001$
LM	18 ± 5	14 ± 3	20 ± 4	$< .001$	0.090	$< .001$
pLAD	18 ± 5	14 ± 3	20 ± 5	$< .001$	0.050	$< .001$
pRCA	20 ± 6	14 ± 3	20 ± 5	$< .001$	0.429	$< .001$

BMI = body mass index, HU = Hounsfield units, SNR = signal-to-noise ratio, CNR = contrast-to-noise ratio

사이에는 유의한 차이가 없었다($p=0.127$) (Table 2). 120 kVp로 촬영한 환자 91명에서 체질량 지수와 평균 혈관 조영 증강 정도 및 영상 잡음과의 상관관계를 보았을 때, 체질량 지수는 혈관의 조영 증강 정도와 유의한 음의 상관관계를 보였으며($r = -0.364, p < 0.001$), 영상 잡음과는 양의 상관관계를 보였다($r = 0.498, p < 0.001$) (Figs. 1, 2). 각각의 관상동맥 분절 별로 영상의 질을 평가한 결과 평균 점수는 A군 4.5

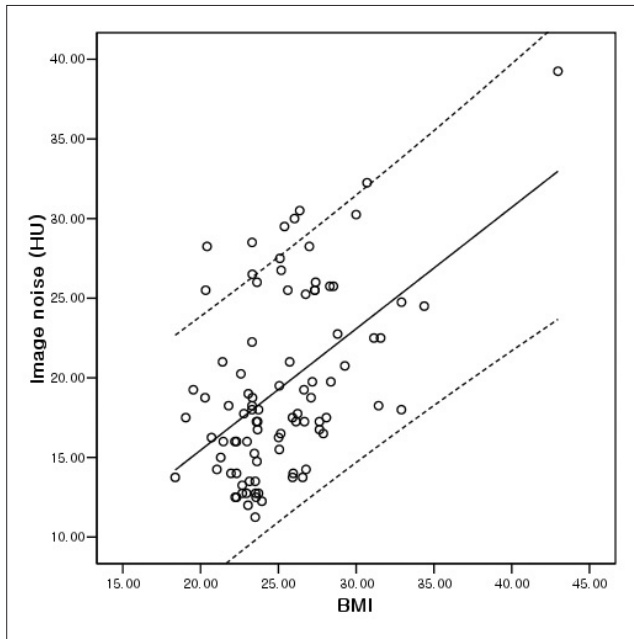


Fig. 2. Linear regression plot of image noise against body mass index shows significant positive dependency ($r=0.498, p<0.001$). Solid line = mean; dashed lines = 95% confidence interval.

± 0.5 , B군 4.1 ± 0.4 , C군 4.2 ± 0.4 로 세 군 모두에서 진단에 적절한 영상을 보였다(Fig. 3). 총 1251 분절 중 진단에 적절한 관상동맥 분절(4점 이상)은 1,222개(97.7%), 진단에 부적절한 관상동맥 분절(3점 이하)은 29개(2.3%)였다. 29개 분절은 모두 3점이었으며 1점과 2점을 받은 분절은 없었다. 진단에 부적절한 29개 분절은 각각, A군 9개 분절(LM, 1; pRCA, 1; mRCA, 3; mLAD, 1; pLCX, 2; dLCX, 1), B군 16개 분절(pRCA, 2; mRCA, 8; dRCA, 2; pLAD, 1; mLAD, 2; dLAD, 1), C군 4개 분절(pRCA, 1; mRCA, 1; dRCA, 1; mLAD, 1)이었다. 진단에 부적절한 영상을 한 분절도 포함하지 않는 환자의 빈도는 A군 87.5%(42/48), B군 80.0%(36/45), C군 95.7%(44/46) 이었다(Table 3). 세 군의 유효 방사선량은 각각, A군 8.5 ± 0.8 mSv, B군 14.3 ± 1.3 mSv, C군 14.9 ± 1.3 mSv로, 관전압을 100 kVp로 낮추어 촬영한 A군은 120 kVp로 촬영한 다른 두 군에 비하여 방사선 피폭량이 약 42% 낮았다(Table 4).

고 찰

체질량 지수는 CT 검사 시에 영상의 질에 영향을 미치는 인자로 알려져 있다. 특히 CT 혈관 조영술을 시행할 때에는 체질량 지수가 높을 때 혈관 조영 증강의 감소와 영상 잡음의 증가로 말미암아 영상의 질이 저하됨이 보고되었다(10-12). CT 혈관 조영술을 저 관전압으로 촬영하면 영상 잡음이 높아져 영상의 질이 저하되지만, 혈관 내 조영 증강 역시 높아지므로 조영 증강 대 잡음 비는 유지되어 진단에 적절한 영상을 얻을 수 있으며 방사선 피폭량을 줄일 수 있는 장점이 있다(5, 6). 우리의 연구에서는 체질량 지수가 25 이하로 낮은 환자군에서 관전압을 100 kVp로 낮추어 CT 관상동맥 조영술을 촬영할

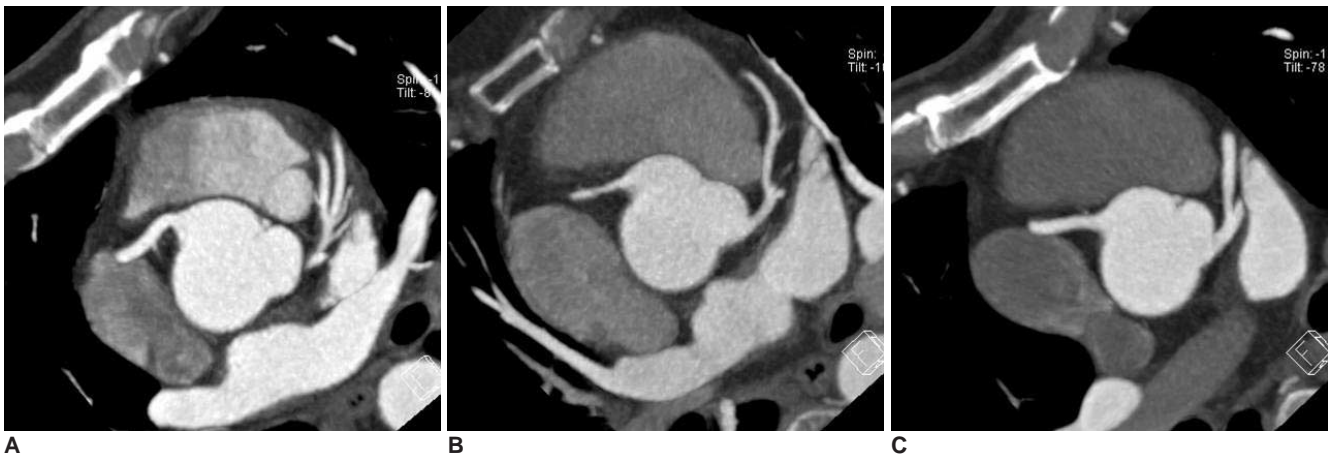


Fig. 3. A-C. CT images in representative coronary CT angiography studies of group.

A. 44-year-old man from group A with BMI of 24.0 kg/m². Axial CT image obtained at 100 kVp shows diagnostic image quality with vessel attenuation of 610 HU and image noise of 21 HU. Estimated radiation dose was 7.4 mSv.
B. 56-year-old woman from group B with BMI of 27.4 kg/m². Axial CT image obtained at 120 kVp shows diagnostic image quality with vessel attenuation of 495 HU and image noise of 28 HU. Estimated radiation dose was 12.5 mSv.
C. 41-year-old man from group C with BMI of 23.5 kg/m². Axial CT image obtained at 120 kVp shows diagnostic image quality with vessel attenuation of 518 HU and image noise of 14 HU. Estimated radiation dose was 14.6 mSv.

Table 3. Subjective Image Quality Assessment in Three Groups

	Group A (n = 48)	Group B (n = 45)	Group C (n = 46)	P Value		
	BMI < 25, 100 kVp	BMI > 25, 120 kVp	BMI < 25, 120 kVp	Gr. A vs Gr. B	Gr. A vs Gr. C	Gr. B vs Gr. C
Total No. of segments	432	405	414			
Mean score	4.5 ± 0.5	4.1 ± 0.4	4.2 ± 0.4	< .001	< .001	< .001
Diagnostic image quality (per segment)	97.9% (423/432)	96.0% (389/405)	99.0% (410/414)	.113	.187	.006
Non-diagnostic image quality (per segment)	2.1% (9/432)	4.0% (16/405)	1.0% (4/414)			
Diagnostic image quality (per patient)	87.5% (42/48)	80.0% (36/45)	95.7% (44/46)	.326	.157	.022

Table 4. Radiation Dose Estimates in Three Groups

	Group A (n = 48)	Group B (n = 45)	Group C (n = 46)	P Value		
	BMI < 25, 100 kVp	BMI > 25, 120 kVp	BMI < 25, 120 kVp	Gr. A vs Gr. B	Gr. A vs Gr. C	Gr. B vs Gr. C
Effective dose (mSv)	8.5 ± 0.8	14.3 ± 1.3	14.9 ± 1.3	< .001	< .001	.026

경우 관상동맥 분절의 97.9%에서 진단에 적절한 양질의 영상을 얻을 수 있다는 것을 확인하였다. 이는 통상적인 120 kVp로 촬영한 환자군과 비교하여 유의한 차이가 없었으며 체질량 지수가 높은 환자군과 비교하여서는 오히려 좋은 결과를 보였다. 영상 잡음의 경우 체질량 지수가 25 이하이며 100 kVp로 촬영한 A군에 체질량 지수가 25 이하이며 120 kVp로 촬영한 C군보다는 높았지만, 체질량 지수 25 이상이며 120 kVp로 촬영한 B군과 비교하여서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 체질량 지수가 25 이하로 낮은 환자는 관전압을 100 kVp로 낮추어 촬영하여도 영상의 질에는 부정적인 영향을 주지 않는다고 볼 수 있다.

Pflederer 등(13)은 체중 85 kg 이하인 환자는 관전압 100 kVp로 촬영한 CT관상동맥 조영술과 120 kVp로 촬영한 CT관상동맥 조영술 간에 영상 질에 차이가 없었다고 하였으며 조영 증강 정도와 영상 잡음이 100 kVp로 촬영한 군에서 유의하게 높았지만 신호 대 잡음 비나 조영 증강 대 잡음 비는 유의한 차이가 없었다고 발표하였다. 또한, 관전압을 낮춤으로써 38.6%의 방사선 피폭을 줄일 수 있었다. Alkadhi 등(8)은 체질량 지수 및 심박동 수에 따라 관전압과 관전류, 심동조화를 서로 다른 다섯 개 프로토콜로 세분하여 촬영한 결과 각 프로토콜 간에 영상의 질에는 유의한 차이가 없었으며, 120 kVp, 330 mAs, 후향적 심동조화를 사용한 기존의 프로토콜에 비하여 BMI < 25, 심박동수 70 이하인 그룹에서 100 kVp, 190 mAs, 전향적 심동조화 프로토콜을 사용하여 방사선 피폭이 86% 감소하였다고 보고하였다. 이처럼 환자의 체중이나 체질량 지수와 같은 개별적 특성에 따른 CT 프로토콜의 변화를 통해 방사선 피폭량을 최소한도로 줄이면서 영상의 질을 저하지 않는 최적의 프로토콜을 찾기 위한 연구가 계속되고 있다. 우리의 연구에서는 체질량 지수 25 이하인 환자에서 관전압을

120 kVp 대신 100 kVp로 낮추어 촬영하는 방법을 통해 영상의 질 저하 없이 방사선 피폭량을 약 42% 감소시킬 수 있었다.

요오드는 원자번호가 높아 낮은 X-선 에너지일수록 요오드 조영제의 감쇠를 증가시키므로 관전압을 낮추어 CT 촬영을 할 경우 요오드 조영제의 조영 증강을 증가시킨다는 장점이 있다(14, 15). 본 연구에서도 100 kVp로 촬영한 환자군에서 혈관 조영 증강이 다른군에 비해 유의하게 높았다. 이러한 점을 이용해 저 관전압으로 촬영하는 환자는 조영제 주입량을 줄이는 프로토콜이 연구되었으며, Stolzmann 등에 따르면 체질량 지수가 25 이하로 낮은 환자에서 관전압을 100 kVp로 낮추어 촬영할 때 조영제 주입량을 1.0 ml/kg에서 0.8 ml/kg로 20% 줄여도 체질량 지수가 25 이상이며 120 kVp로 촬영한 환자들과 비교하였을 때 혈관 조영 증강에 유의한 차이가 없었다(7).

높은 체질량 지수와 낮은 관전압은 모두 영상 잡음을 증가시켜 영상의 질에 부정적인 영향을 끼치게 된다. 저자들의 연구에서 체질량 지수가 낮고 낮은 관전압으로 촬영한 A군과 체질량 지수가 높고 높은 관전압으로 촬영한 B군을 비교하였을 때 영상 잡음에는 유의한 차이가 없었으나 영상의 질을 비교하였을 때에는 A군의 평균 점수가 더 높았으며 진단에 적절한 영상의 빈도도 높았다. 진단에 적절한 영상을 얻는 빈도는 관전압이 달라도 체질량 지수가 유사한 A군과 C군 사이에는 유의한 차이가 없었지만, 같은 관전압으로 촬영하였어도 체질량 지수가 다른 B군과 C군 사이에서는 유의한 차이가 있었는데 이는 체질량 지수가 영상의 질에 미치는 영향이 크다는 점을 시사한다. 또한, 같은 체질량 지수임에도 불구하고 낮은 관전압으로 촬영한 A군이 C군 보다 영상의 질의 평균 점수가 오히려 높았는데, 이는 낮은 관전압으로 인해 혈관 조영 증강이 증가한 효과로 영상 잡음이 다소 높아진 점을 극복하였다고 생각해

볼 수 있다.

우리의 연구에는 제한점이 있다. 이 연구에 포함된 환자 중 다수는 무증상 선별검사를 위한 환자들이며 이러한 환자들은 대부분 고식적 관상동맥 조영술을 시행 받지 않았다. 이에 우리는 영상의 질만 평가했을 뿐 관상동맥 질환에 대한 진단적 정확도를 분석하지 않았다. 향후 관상동맥 질환을 앓고 있는 환자군에서 고식적인 관상동맥 조영술과의 비교를 통한 진단능 평가에 대한 연구가 이루어져야 하겠다. 또한, 환자군별 평균 심박 수나 심박 수의 변동범위를 기록하지 않았다. 그러나 베타차단제를 사용하여 심박 수가 70 이하로 유지되고, 부정맥이 없는 환자에게서만 CT를 시행하였기 때문에 평균 심박 수나 심박 수의 변동에 따른 영상 질 평가에의 영향은 적을 것으로 생각한다.

결론적으로, 체질량 지수가 25 이하로 낮은 환자에서 선택적으로 관전압을 100 kVp로 낮추어 CT 관상동맥 조영술을 시행하는 경우 영상의 질 저하 없이 진단에 적절한 영상을 얻을 수 있는 동시에 효과적으로 방사선 피폭량을 줄일 수 있다.

참 고 문 헌

- Mollet NR, Cademartiri F, van Mieghem CA, Runza G, McFadden EP, Baks T, et al. High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography. *Circulation* 2005;112:2318-2323
- Leschka S, Alkadhi H, Plass A, Desbiolles L, Grünenfelder J, Marincek B, et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J* 2005;26:1482-1487
- Husmann L, Schepis T, Scheffel H, Gaemperli O, Leschka S, Valenta I, et al. Comparison of diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography in patients with low, intermediate, and high cardiovascular risk. *Acad Radiol* 2008;15:452-461
- Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, Huber E, Zankl M, Martinoff S, et al. Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose estimates. *Circulation* 2006;113:1305-1310
- Leschka S, Stolzmann P, Schmid FT, Scheffel H, Stinn B, Marincek B, et al. Low kilovoltage cardiac dual-source CT: attenuation, noise, and radiation dose. *Eur Radiol* 2008;18:1809-1817
- Szucs-Farkas Z, Kurmann L, Strautz T, Patak MA, Vock P, Schindera ST. Patient exposure and image quality of low-dose pulmonary computed tomography angiography: comparison of 100- and 80-kVp protocols. *Invest Radiol* 2008;43:871-876
- Stolzmann P, Leschka S, Scheffel H, Krauss T, Desbiolles L, Plass A, et al. Dual-source CT in step-and-shoot mode: noninvasive coronary angiography with low radiation dose. *Radiology* 2008;249:71-80
- Alkadhi H, Stolzmann P, Scheffel H, Desbiolles L, Baumüller S, Plass A, et al. Radiation dose of cardiac dual-source CT: the effect of tailoring the protocol to patient-specific parameters. *Eur J Radiol* 2008;68:385-391
- Tatsugami F, Husmann L, Herzog BA, Burkhard N, Valenta I, Gaemperli O, et al. Evaluation of a body mass index-adapted protocol for low-dose 64-MDCT coronary angiography with prospective ECG triggering. *AJR Am J Roentgenol* 2009;192:635-638
- Jung B, Mahnken AH, Stargardt A, Simon J, Flohr TG, Schaller S, et al. Individually weight-adapted examination protocol in retrospectively ECG-gated MSCT of the heart. *Eur Radiol* 2003;13:2560-2566
- Irie T, Inoue H. Individual modulation of the tube current-seconds to achieve similar levels of image noise in contrast-enhanced abdominal CT. *AJR Am J Roentgenol* 2005;184:1514-1518
- Bae KT, Seeck BA, Hildebolt CF, Tao C, Zhu F, Kanematsu M, et al. Contrast enhancement in cardiovascular MDCT: effect of body weight, height, body surface area, body mass index, and obesity. *AJR Am J Roentgenol* 2008;190:777-784
- Pfleiderer T, Rudofsky L, Ropers D, Bachmann S, Marwan M, Daniel WG, et al. Image quality in a low radiation exposure protocol for retrospectively ECG-gated coronary CT angiography. *AJR Am J Roentgenol* 2009;192:1045-1050
- Sigal-Cinqualbre AB, Hennequin R, Abada HT, Chen X, Paul JF. Low-kilovoltage multi-detector row chest CT in adults: feasibility and effect on image quality and iodine dose. *Radiology* 2004;231:169-174
- Nakayama Y, Awai K, Funama Y, Hatemura M, Imuta M, Nakaura T, et al. Abdominal CT with low tube voltage: preliminary observations about radiation dose, contrast enhancement, image quality, and noise. *Radiology* 2005;237:945-951

Image Quality and Radiation Exposure in Coronary CT Angiography According to Tube Voltage and Body Mass Index¹

Yoon Kyung Kim, M.D., Yookyung Kim, M.D.²

¹Department of Radiology, Korea University Guro Hospital, Korea University College of Medicine

²Department of Radiology, Ewha Womans University MokDong Hospital

Purpose: To investigate the image quality and radiation dose of a coronary CT angiography (CCTA) according to tube voltage and body mass index (BMI).

Materials and Methods: This study included 139 patients who underwent CCTA using a retrospective electrocardiography-gating technique. A total of 48 patients (BMI < 25, group A) were examined with 100 kVp, 45 patients (BMI > 25, group B) with 120 kVp, and 46 patients (BMI < 25, group C) with 120 kVp. Attenuation and image noise of the aorta and coronary arteries was measured. Moreover, the image quality of 9 coronary segments was graded on a scale of 1-5, where grade 4 or 5 was considered to be diagnostic. Image quality parameters and radiation dose were compared using a *t*-test or Chi-squared test.

Results: Vessel attenuation in group A was significantly higher than in groups B or C (group A, 592 ± 85 HU; group B, 437 ± 46 HU; group C, 469 ± 62 HU, $p < 0.001$). Image noise was similar in group A and group B (23 ± 5 HU versus 22 ± 6 HU, $p = 0.427$), but significantly higher in group A compared to group C (23 ± 5 HU versus 17 ± 4 HU, $p < 0.001$). A significant difference was observed in the signal-to-noise ratio between the three groups (group A, 24 ± 6 ; group B, 19 ± 3 ; group C, 27 ± 5 ; $p < 0.05$). Moreover, the contrast-to-noise ratio was significantly higher in group A than group B (group A 18 ± 5 versus group B 14 ± 3 , $p < 0.001$) but not significantly different between group A and group C (group C 20 ± 4 , $p = 0.127$). The percentage of coronary segments with diagnostic image quality was 97.9% in group A, 96.0% in group B, and 99.0% in group C. The mean image quality score was 4.5 ± 0.5 in group A, 4.1 ± 0.4 in group B, and 4.2 ± 0.4 in group C ($p < 0.001$). The effective radiation doses were 8.5 ± 0.8 mSv in group A, 14.3 ± 1.3 mSv in group B, and 14.9 ± 1.3 mSv in group C. A 42% reduction in mean effective radiation dose in group A was observed compared with groups B and C.

Conclusion: In patients with BMI less than 25 and a low-dose CCTA with 100 kVp leads to a significant reduction in radiation exposure without degradation of image quality.

Index words : Coronary Angiography
Body mass index
Radiation Dosage

Address reprint requests to : Yookyung Kim, M.D., Department of Radiology, Ewha Womans University MokDong Hospital,
911-1 MokDong YangCheon-ku, Seoul 158-710, Korea.
Tel. 82-2-2650-5174 Fax. 82-2-2650-5071 E-mail: yookkim@ewha.ac.kr