

관상동맥 석회반: 관상동맥CT혈관촬영술에서 관상동맥협착의 과대평가에 미치는 요인 평가¹

김목희 · 고준석² · 김윤현^{1,3} · 최 송 · 선현주 · 정광우^{1,3} · 박진균^{1,3} · 강형근^{1,3}

목적: 관상동맥CT혈관촬영술(CCTA)을 이용한 관상동맥질환의 진단에 있어 관상동맥 협착 정도를 과대평가하게 되는 석회반의 특성에 대해 알아보려고 하였다.

대상과 방법: CCTA와 침습적 관상동맥조영술(ICA)을 모두 시행한 232명의 관상동맥(좌주관상동맥, 좌전하행동맥, 좌회선동맥, 우관상동맥) 928개 혈관 중 CCTA에서 석회반이 관찰된 271개 혈관을 분석하였다. 각 혈관을 CCTA와 ICA에서의 협착 정도로 비교하여, 두 검사가 일치하는 집단(A군)과 ICA에 비하여 CCTA에서 협착 정도가 과대평가된 집단(B군)으로 분류하였다. 두 집단 간에 전체 석회화 수치, 혈관별 석회화 수치, 혈관별 석회반 덩어리 수, 혈관별 석회반 밀집도(혈관 석회화 수치/혈관 석회반 덩어리 수)를 비교하였다.

결과: 전체 271개의 혈관 중 164개 혈관은 CCTA에서 ICA에 비하여 과대평가를 보였으며 (60.5%), 좌전하행동맥에서 47.1%로 다른 혈관에 비해서 유의하게 낮은 빈도를 보였다 ($p=0.001$). 전체 석회화 수치, 각각의 혈관 석회화 수치, 혈관별 석회반 밀집도는 두 그룹 간에 유의한 차이를 보이지 않았으나, 혈관 석회반 덩어리 개수가 증가할수록 과대평가되는 비율이 감소하였다($p < 0.05$).

결론: CCTA를 이용한 관상동맥의 평가에 있어 석회반을 동반한 혈관에 협착의 과대 평가가 있으며, 전체 석회화 수치, 혈관별 석회화 수치, 혈관별 석회반 밀집도는 과대평가 여부에 영향을 미치지 않았다.

관상동맥질환(coronary artery disease, 이하 CAD)은 서구뿐만 아니라 우리나라에서도 높은 사망 및 이환율을 보이는 질환이다. 관상동맥질환의 원인은 대부분 동맥경화증으로 이는 중년 및 노년층에서 주로 발견되지만, 청소년기에서부터 시작하여 서서히 진행되는 질환으로 알려져 있다(1). 따라서 조기에 발견하면 적절한 치료와 관리를 통해 좋은 예후를 기대할 수 있으며, 증상발현 이전에 관상동맥질환의 위험이 큰 환자를 찾는 것이 중요하다.

과거 수십 년간 침습적관상동맥조영술(invasive coronary angiography, 이하 ICA)은 관상동맥을 평가하는데 표준 검사법으로 자리 잡아 왔다. 그러나 이는 침습적 검사법으로 소수에서는 검사로 인한 합병증이 보고되고 있어(2), 침습적 검사 이외에 운동부하심전도검사(treadmill test), 심근관류 단

일광자방출전산화단층촬영술(single photon emission computed tomography, 이하 SPECT), 부하 심장 초음파 등의 비침습적인 진단 방법이 부가적인 역할을 해 오고 있었다.

최근 전산화단층촬영(computed tomography, 이하 CT) 기술의 발전으로 64-채널 이상의 다중검출기CT(multi-detector CT, 이하 MDCT)를 이용하여 165 msec 이하의 시간 분해능과 0.6 mm 이하의 공간 분해능으로 검사가 가능해졌다. 따라서 단일 호흡주기 동안 관상동맥혈관과 심장 영상을 얻을 수 있는 관상동맥CT혈관촬영술(Coronary CT angiography, 이하 CCTA)이 가능하게 되었다(3). 여러 연구에서 CCTA는 ICA와 비교하여 50% 이상의 협착이 있는 관상동맥 질환을 진단하는데 음성 예측도가 95-98%에 이를 정도로 매우 훌륭한 검사법으로 보고되고 있다(4-9). 그러나 많은 연구에서 CCTA의 한계점으로 관상동맥에 있는 석회반으로 인한 위양성을 지적하고 있으며, 이 때문에 불필요한 추가 검사를 하게 되어 CCTA의 임상적 사용을 제한해야 한다는 보고가 있다(10, 11).

¹전남대학교병원 영상의학과

²광주보훈병원 영상의학과

³전남대학교 의과대학 영상의학교실

이 논문은 전남대학교병원 임상의학연구소 학술연구비 (CRI09-1)의 지원에 의해 수행됨

이 논문은 2009년 7월 6일 접수하여 2009년 8월 25일에 채택되었음.

알려진 바와 같이 CCTA에서 석회반은 주위 관상동맥혈관을 모호하게 보이게 하는 팽창 인공물(blooming artifact)을 형성하여, 관상동맥의 협착을 과대평가하도록 하여 협착정도의 정확한 평가를 어렵게 한다(12). 그러나 석회반의 특징에 따라 관상동맥의 협착을 과대평가하게 되는 요인들에 대한 구체적인 분석은 진행된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 CCTA에서 석회반을 보이는 관상동맥혈관을 대상으로 동맥협착 정도를 과대평가하게 되는 특성이 있는지를 알아보고자 하였다.

대상과 방법

대상 환자

최근 1년 6개월 동안 CCTA와 ICA를 동시에 시행한 273명

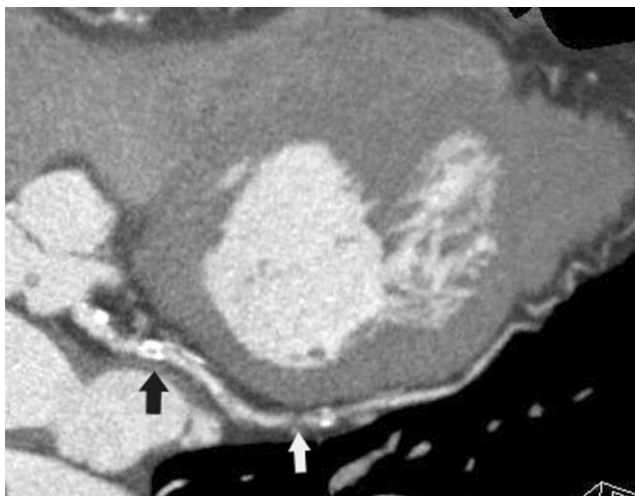
의 환자를 대상으로 하였다. 이들 중 관상동맥질환의 기왕력으로 관상동맥우회술(coronary artery bypass graft, CABG) 또는 관상동맥스텐트삽입술 등의 치료를 받은 환자들은 제외하였으며, CCTA에서 계단모양의 인공물(stair step artifact)이나 영상 분석에 영향을 줄 수 있는 움직임 또는 부정맥에 의한 심각한 인공물이 있는 환자를 제외한 나머지 환자 중 조영증강 전 CT 영상에서 최소한 한 개 이상의 주요 분지 관상동맥에 석회반이 관찰되는 232명의 환자를 최종 대상으로 선정하였다. 대상 환자 중 남자는 139명이었고, 여자는 93명이었으며, 연령분포는 42세에서 89세로 평균 연령은 67세였다. 이 환자들의 관상동맥 주요분지(좌주관상동맥, 좌전하행동맥, 좌회선동맥, 우관상동맥) 928개 혈관 중 CCTA에서 관상동맥 내에 석회반이 관찰되는 271개 혈관을 대상으로 평가하였다. CCTA를 시행하고 나서 ICA는 1-24일(평균 13일) 이

Artery	Number of Lesions (1)	Volume [mm ³] (3)	Equiv. Mass [mg CaHA] (4)	Score (2)
LM	2	55.3	12.03	69.1
LAD	13	568.9	143.92	757.4
CX	5	121.7	25.04	151.6
RCA	8	268.5	58.00	338.4
Total	28	1014.3	238.99	1316.5

A



B



C



D

Fig. 1. A 76-year-old woman with chest pain.

A. Screenshot of calcium scoring displays number of calcium burden as number of lesion.

B. Precontrast CT image shows multiple calcified plaques in proximal & mid-left circumflex artery.

C. Curved multiplanar reformation of coronary CT angiography (CCTA) image shows significant stenosis (arrows) at proximal & mid-left circumflex artery.

D. Invasive coronary angiography shows corresponding results (arrows) with CCTA.

내에 시행하였다. CCTA를 시행한 이유로는 비전형적 흉통(197명)이 가장 많은 원인을 차지하였으며, 호흡곤란이 15명, 심전도 이상이 11명, 심계항진이 3명이었고, 나머지 6명은 건강검진이 목적이었다. 심혈관질환 위험인자로는 고혈압이 138명, 흡연력이 있는 예가 67명, 당뇨가 65명, 고지혈증이 25명, 비만이 20명, 심장질환의 가족력이 있는 환자가 2명이었다.

영상 검사

모든 환자에서 검사에 대한 동의서를 얻고 나서, 64-절편 MDCT 스캐너(Sensation Cardiac 64; Siemens Medical Solution, Forchheim, Germany)를 사용하여 영상을 얻었다.

목표 심박동 수는 65회 이하로 하였고, 심박동 수가 65회 이상이면 베타 차단제를 사용하였다. 사용한 베타 차단제는 propranolol (Teptra® Tablet 40 mg)으로 대부분 1정을 복용하였고, 최대 3정으로 제한하였다. 베타 차단제사용 후에 심박동 수가 65회 이하로 조절되지 않더라도 검사를 시행했다. CT를 시행하기 전에 환자의 호흡 조절능력을 알아보고 충분한 지도를 했다.

조영증강 전 영상은 관상동맥 석회화수치를 측정하기 위해 시행했으며 영상범위는 심장 전체를 포함하였다. 전향적심전도 동기화기법을 사용했고 스캔 조건은 120 kVp, 30 effective mA, 갱트리 회전시간(gantry rotation time) 0.33초, pitch 0.2, 절편 두께와 간격을 각각 3 mm로 머리에서 꼬리방향(craniocaudal direction)으로 스캔했다.

조영증강 영상은 bolus tracking 기법을 이용하여 비이온성 조영제 iopromide (Ultravist® 370; Schering AG, Berlin, Germany) 65-80 mL를 강력주사기 (EMPOWER CTA; E-Z-EM, New York, USA)를 통해 전주와 정맥에 4.5 mL/sec 속도로 주입한 후, 이어서 생리 식염수 60 mL를 5 mL/sec 속도로 주입하고 상행대동맥에 위치시킨 관심영역(region of interest, 이하 ROI)의 조영증강 정도가 100 Hounsfield Unit(이하 HU) 도달 6초 이후 스캔을 시작하였다. 방사선 피폭을 줄이기 위해 ECG pulsing 기법을 이용한 후향적심전도 동기화기법을 사용했고 스캔 조건은 120 kVp, 800-900 effective mA, 갱트리 회전시간 0.33초, pitch 0.2를 적용하여 역시 머리에서 꼬리 방향으로 스캔을 시행하였다. 영상 재구성을 위한 절편 두께와 간격은 각각 0.75 mm와 0.5

mm로 설정하였고, B36f Heart View Medium kernel을 사용하였다. 65% R-R 간격에서 영상을 재구성하여 평가한 뒤, 최적의 영상이 아닐 때는 다른 R-R 간격(64-70%)에서 모두 영상을 재구성하여 이들 중 최적의 영상을 선택하여 PACS(M-view, version 5.4.8.2, Infinitt, Seoul, Korea)로 전송하였다.

영상 분석

관상동맥은 평가가 쉽도록 CCTA에서 뚜렷하게 보이는 주요 분지인 1) 좌주관상동맥(left main coronary artery, LM), 2) 좌전하행동맥(left anterior descending artery, LAD), 3) 좌회선동맥(left circumflex artery, LCX), 4) 우관상동맥(right coronary artery, RCA)으로 나누었다.

스캔한 원천영상을 워크스테이션(Wizard®, Siemens Medical Solution, Forchheim, Germany)으로 전송하여 석회화 수치를 점수화했다. 석회화는 Agatston 방법을 사용하여 관상동맥 경로를 따라 130 HU 이상의 감쇠 계수를 보이는 영역으로 정의하였다. 석회반이 있는 혈관을 갖는 환자의 전체 석회화 수치, 혈관별 석회화 수치, 혈관별 석회반 덩어리 수(number of calcium burden)를 각각 기록하였고, 각 혈관별 석회화 수치를 혈관별 석회반 덩어리 수로 나누어 각 혈관별 석회반의 밀집도를 계산하였다.

관상동맥 협착 정도의 평가는 워크스테이션에서 각 혈관별로 만곡 다평면재구성(curved multiplanar reformatted, 이하 curved MPR)영상을 만들고 window width와 level을 각각 700 HU, 80 HU로 설정하여 PACS로 전송하였다. ICA의 결과를 모르는 영상의학과 의사 2명이 합의로 curved MPR 및 단면 영상에서 석회반이 관찰되는 부분의 협착 정도가 협착 부위 상하의 정상 관상동맥 직경에 비하여 50% 이상 감소한 경우를 의미 있는 협착, 50% 미만인 경우를 의미 없는 협착으로 평가하였다. 이후 ICA의 결과를 CCTA의 결과와 비교하여 동맥 협착 정도가 일치하는 집단을 A군(Fig. 1), CCTA에서 협착정도가 과대평가된 집단을 B군(Fig. 2)으로 나누었다. CCTA와 ICA의 결과가 다른 경우나 ICA보다 CCTA에서 과소평가되는 경우는 석회반이 관상동맥 협착 정도의 과대평가에 미치는 영향을 평가하는 이 연구의 목적에 맞지 않아 제외하였다.

Table 1. The Number of Vessels and Parameters Related with Calcified Plaques of Matched (A) and Overestimated (B) Groups on Coronary CT Angiography (CCTA) according to Location of Calcified Plaques, on Comparison between CCTA and Invasive Coronary Angiography

Vessels	Group A					Group B				
	No (%)	TCS	NCB	VCS	DCP	No (%)	TCS	NCB	VCS	DCP
LM	8 (32)	604.3	1.5	45.7	73.8	17 (68)	670.1	1	86.6	104.1
LAD	55 (52.9)	358	5.1	142.8	36.4	49 (47.1)*	482.8	4	179.9	48.9
LCX	22 (36.7)	678.6	4.6	115.7	35.3	38 (63.3)	913.4	4	123	135.1
RCA	22 (26.8)	433.1	6.7	175.1	29.4	60 (73.2)	691.9	5	210.4	100.1
Total			107 (39.5)					164 (60.5)		

Note. — LM = left main coronary artery, LAD = left anterior descending artery, LCX = left circumflex artery, RCA = right coronary artery, TCS = Total calcium score, NCB = Number of calcified plaque, VCS = Vascular calcium score, DCP = Density of calcified plaque, * $p < 0.01$

통계 분석

CCTA에서 평가된 관상동맥 각 주요 분지별 석회반에 의해 동맥 협착 정도가 과대평가되는 비율을 알아보았다. 이후 A군과 B군 사이에 1) 전체 석회화 수치, 2) 혈관별 석회화 수치, 3) 혈관별 석회반 덩어리 수, 4) 혈관별 석회반 밀집도가 유의한 차이를 보이는데 대해 Mann-Whitney U test를 이용하여 비교 분석하였고, 석회반과 관련된 매개변수들의 증가가 동맥협착의 과대 평가율에 영향을 주는가에 대해 각각의 매개변수를 사분위(quartile)로 나누어 카이제곱검정으로 평가하였다.

결 과

CCTA에서 271개 혈관 중 164개 혈관(60.5%)이 과대평가

되었다. RCA가 과대평가되는 비율이 가장 높았으며, LM, LCX, LAD 순이었다. 다른 혈관에 비해 LAD에서 과대평가되는 비율(47.1%)이 통계적으로 유의하게 낮았다($p < 0.01$, Table 1).

전체 석회화 수치는 평균 438(1-5,110)이었다. ICA와 CCTA의 결과에서 협착의 정도가 일치하는 A군과 CCTA에서 과대평가된 B군에서 전체 석회화 수치는 각각 평균 133(1-2,930)과 157(2-5,110)로, CCTA에서 과대평가 여부에 따른 전체 석회화 수치는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p = 0.22$). 또한, 전체 석회화 수치에 따라 각 분위별 혈관 개수를 균등하게 사분위로 나누어, 각 분위별 과대 평가율을 비교하였으나 통계적 유의한 차이는 없었다($p = 0.13$, Table 2).

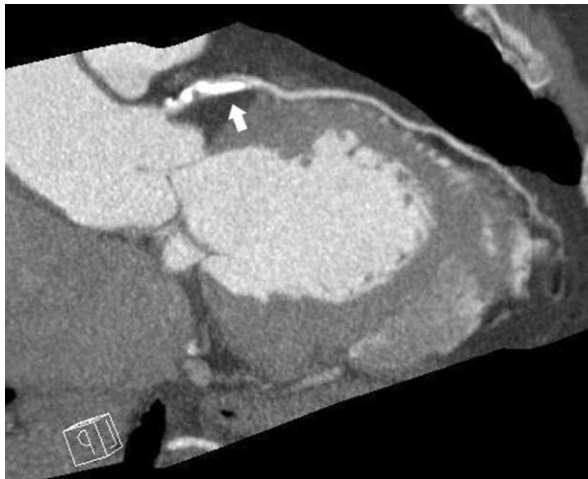
혈관별 석회화 수치는 평균 186(1-3,454)이었고, A군에서 평균 159(1-1,027), B군에서 평균 204(1-3,457)로 통계적

Artery	Number of Lesions (1)	Volume [mm ³] (3)	Equiv. Mass [mg CaHA] (4)	Score (2)
LM	1	14.9	3.42	21.2
LAD	1	280.1	83.22	346.2
CX	2	58.0	15.46	102.8
RCA	6	601.5	162.88	805.9
Total	10	954.6	264.98	1276.2

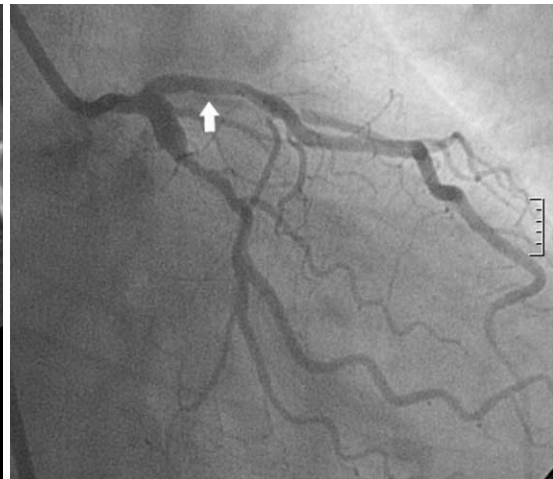
A



B



C



D

Fig. 2. A 65-year-old man with chest pain.

A. Screenshot of calcium scoring displays number of calcium burden as number of lesion.

B. Precontrast CT scan shows dense calcified plaques in proximal left anterior descending artery.

C. Curved multiplanar reformation of coronary CT angiography image shows significant stenosis (arrow) at left anterior descending artery.

D. Invasive coronary angiography shows insignificant (<50%) luminal narrowing (arrow) at proximal left anterior descending artery.

유의한 차이가 없었으며($p=0.09$), 각 분위별 혈관 개수를 혈관 석회화 수치에 따라 균등하게 사분위로 나누어 비교한 과대 평가를 또한 혈관 석회화 수치 증가와 상관관계가 없었다($p=0.29$, Table 3).

혈관별 석회반 덩어리 수는 평균 4.2개(1-18개)이었고, A군에서 평균 4.5개(1-17개), B군에서 평균 3.9개(1-18개)로 통계적 유의한 차이가 없었다($p=0.08$). 하지만, 석회반 덩어리 수(1, 2-3, 4-6, 7-18)에 따라 4등급으로 나누어 카이제곱 검정($p=0.04$)과 경향분석($p=0.01$)을 했을 때 석회화 덩어리 수가 많아질수록 과대 평가율은 낮아지는 경향을 보였다(Table 4).

혈관별 석회반 밀집도는 평균 59.8(0.35-3,457.2)이었고, A군에서 평균 37.6(0.65-174.2), B군에서 평균 74.4(0.35-3,457.2)로 B군에서 높은 경향을 보였으나 통계적으로 의미 있는 차이는 없었다($p=0.49$). 또한, 각 분위별 혈관 개수를 석회반 밀집도에 따라 균등하게 사분위로 나누어 각 분위별 과대 평가율을 비교했을 때, 석회반 밀집도가 높은 분위(10.88-3,457.2, 65.7%)에서 낮은 분위(0.35-12.97, 58.8%)보다 과대 평가율이 높았으나 통계적 유의한 차이는 없었다($p=0.36$, Table 5).

고 찰

최근에 64채널 MDCT의 도입으로 관상동맥질환이 의심되는 환자에서 관상동맥 협착의 가능성을 배제하기 위하여 비침습적 검사인 CCTA가 우선적 선별검사로써 보편적으로 시행되고 있다.

CCTA는 많은 기술적 발전과 영상처리 능력의 발전으로 관

상동맥의 협착을 평가하는 데 있어 민감도와 음성 예측도가 90% 이상으로 높게 보고하고 있다.

Leschka 등(13)은 67명의 환자에서 94%의 민감도와 99%의 음성 예측도를 보고했다. 또한, Raff 등(14)은 70명의 환자에서 86%의 민감도와 98%의 음성 예측도를 보고했으며, 전체 석회화 수치를 기준으로 했을 때는 400 이상이면 100이내인 경우보다 진단 특이도 및 음성 예측도가 95%에서 67%로 낮아진다고 보고했다. Ong 등(15)도 134명의 증상이 있는 환자를 대상으로 시행한 MDCT와 ICA에서의 결과를 전체 석회화 수치가 142 이상인 집단과 그 미만인 집단으로 나누어 비교했을 때 민감도, 특이도, 양성 예측도, 음성 예측도를 각각 79.9%, 92.8%, 78.8%, 93.5%와 85.4%, 98.1%, 76.7%, 99.2%로 보고했다. Kuettner 등(16)에 의하면 정확히 평가하기 어려웠던 66개 혈관 중 46개는 좋지 않은 영상 질 또는 심한 석회반(70%) 때문이었으며 이중 28개(61%)가 관상동맥의 석회반 때문이었다고 한다. 이들을 다시 석회화 수치 335 이하인 경우만 평가했을 때 66개 병변 중 32개(48%)를 정확히 평가할 수 있었다고 했으며, 이를 다시 분류해 심박동 65회 이하이고 석회화 수치 335 이하인 환자만을 대상으로 하였을 때는 11명 중 10명에서 정확한 진단이 가능했다고 한다. 이와 같은 연구들은 CCTA가 높은 민감도와 음성 예측도를 보이지만 낮은 양성 예측도를 보이며 관상동맥협착을 평가하는데 석회반의 팽창 인공물이 정확한 진단을 방해하고 있음을 보여주고 있다.

우리의 연구 결과에서는 LAD가 다른 관상동맥에 비해 과대 평가되는 비율이 낮았는데 이는 아마도 LM을 제외한 다른 혈관에 비하여 LAD가 보다 직경이 크고 움직임이 적기 때문에 CCTA에서의 평가가 비교적 정확했을 것으로 생각한다. LM

Table 2. Comparison of the Number of Vessels between Matched (A) and Overestimated (B) Groups on CCTA according to Ranked Total Calcium Score as Quartile

Total Calcium Score	Group A (%)	Group B (%)*	Total (n=271)
1.3 - 120.6	26 (38.2)	46 (61.8)	68
121.5 - 294.6	30 (44.1)	38 (55.9)	68
296.5 - 758.3	31 (45.6)	37 (54.4)	68
758.4 - 5110.2	20 (29.9)	47 (70.1)	67

* $p = 0.13$

Table 3. Comparison of the Number of Vessels between Matched (A) and Overestimated (B) Group on CCTA according to Ranked Each Vascular Calcium Score as Quartile

Each Vascular Calcium Score	Group A (%)	Group B (%)*	Total (n=271)
0.7 - 36.2	25 (33.8)	45 (66.2)	68
36.7 - 95.8	29 (42.6)	39 (57.4)	68
97 - 222.8	30 (44.1)	38 (55.9)	68
224.1 - 3457.2	25 (37.3)	42 (62.7)	67

* $p = 0.29$

Table 4. Comparison the Number of Vessels between Matched (A) and Overestimated (B) Group on CCTA according to Ranked Number of Calcium Burden as Quartile

Number of Calcium Burden	Group A (%)	Group B (%)*	Total (n=271)
1	22 (32.8)	45 (67.2)	67
2 - 3	29 (34.1)	39 (65.9)	85
4 - 6	31 (52.5)	38 (47.5)	59
7 - 18	25 (41.6)	42 (58.4)	60

* $p = 0.04$

Table 5. Comparison the Number of Vessels between Matched (A) and Overestimated (B) Group on CCTA according to Ranked Density* of Calcified Plaques as Quartile

Density of Calcified Plaques	Group A (%)	Group B (%)†	Total (n=271)
0.35 - 12.97	28 (41.2)	40 (58.8)	68
13.18 - 29.35	27 (39.7)	41 (60.3)	68
29.9 - 59.85	29 (42.6)	39 (57.4)	68
60.88 - 3457.2	23 (34.3)	44 (65.7)	67

*: Each vascular calcium score / Number of calcium burden,

† $p = 0.36$

은 다른 혈관들에 비해 직경이 크고 움직임이 적지만, 상대적으로 길이가 짧아 Table 1과 같이 LM에서 관찰되는 석회반 덩어리 수가 다른 혈관에 비해 적어 석회반 밀집도가 LAD보다 높아서 직경이 크에도 불구하고 LAD보다 과대 평가율이 높았으리라 생각된다. Sun 등(17)에 의한 메타분석에 의하면 4개 혈관의 평가에서 LM과 RCA, LM과 LCX 사이를 비교할 때만 진단율의 차이가 있었고($p < 0.05$), 근 원위 혈관 간의 비교에서는 RCA의 근위혈관과 원위혈관 사이에서만 진단율의 차이를 보였다고 한다. 본 연구에서는 관상동맥을 네 개의 주요 분지로 나누어 평가하였기 때문에 혈관 간의 비교 평가는 할 수 없었다. 또한, 이번 연구에서는 혈관별 석회반 덩어리 수가 증가할수록 과대평가되는 비율이 낮았는데 이는 각 혈관 석회화 덩어리 수가 증가할수록 혈관별 석회화 수치는 증가하지만, 석회화 밀집도는 오히려 감소하게 되어 과대 평가율이 낮았을 것으로 생각한다. 하지만, 그 외의 다른 매개변수들은 과대평가 여부와 상관관계를 찾을 수 없었다.

부분용적효과 혹은 인공물은 불균질한 성분을 갖는 voxel의 평균 수치에 상응하는 화소를 정하므로 평균 감쇠 계수 값을 보이며 이는 공간분해능을 제한한다. 특히 Hounsfield 값이 크게 차이 나는 구조물이나 조직의 경계부위에 존재한다. 또한, 심한 석회화나 스텐트가 부분용적효과 때문에 커져 보이는 것을 팽창 인공물(blooming artifact) 이라고 하며 인접한 관상동맥 내강을 가려 병변의 협착이 과장되어 보인다. 이러한 부분용적효과는 voxel이 클수록 즉 화소 크기가 커지거나 재구성 영상의 두께가 커질수록 커진다(18). 이러한 부분용적효과는 대부분 관상동맥의 석회화로 인한 위음성과 위양성을 가져오므로 관상동맥CT혈관촬영술에 있어 매우 중요한 개념이다. Sharp kernel과 아주 얇은 절편 (0.5-0.6 mm)을 상용하면 팽창인공물을 감소시켜 스텐트의 개통성을 평가하는 데 도움이 되나 심한 석회화에는 별로 도움이 되지 않는다. 이러한 부분 용적효과는 영상단면이나 절편의 두께에 따라 축소경화반 평가에도 영향을 미치게 되므로, 이를 해결하기 위해서는 가능하면 가장 얇은 두께의 영상과 작은 재구성 시야(field of view)를 가지고 판독하는 것이 좋다고 한다(19). 고정된 관상동맥 표본을 이용한 체의 실험에서 64-채널 MDCT에서 측정 한 석회화 면적을 조직 병리 검사 결과와 비교했을 때 약 400%까지 과대평가되었다고 한다. 반면에 평판용적CT(flat-panel-volume CT)에서는 조직병리 검사에서 측정한 석회화의 면적에 비해 약 214%까지 과대평가되었다(20). 이처럼 석회화에 의한 관상동맥의 과대평가는 장비의 발전에 따라 많이 감소시킬 수는 있으나 완전히 제거할 수는 없다.

본 연구의 제한점은 석회반이 존재하는 각 관상동맥 혈관에 대한 협착 정도의 과대평가에 석회반이 미치는 영향을 CCTA에서 객관적으로 측정 가능한 매개변수들과의 연관성에 대해서만 분석하였을 뿐, 석회반의 모양이나 두께, 길이 등의 형태학적 특성과의 관계에 대해서는 분석하지 못하였다. 또한, 각 주요 분지들을 혈관별로 세분하여 분석하지 못했고, 관상동맥의 크기나 관상동맥의 조영증강 정도에 따라 과대평가 정도를 분석하지 못했다. 이에 대한 더욱 세밀한 연구가 필요할 것으

로 생각한다.

결론적으로 CCTA를 이용한 관상동맥의 평가에 있어 석회반을 동반한 협착의 과대 평가율은 다른 혈관에 비해 LAD에서 유의하게 낮았으며, 전체 석회화 수치, 혈관별 석회화 수치, 혈관별 석회반 밀집도는 과대평가 여부에 영향을 미치지 않았다.

참 고 문 헌

1. Stary HC. Evolution and progression of atherosclerotic lesions in coronary arteries of children and young adults. *Arteriosclerosis* 1989; 9(1 Suppl):I19-I32
2. Agostoni P, Biondi-Zoccai GG, De Benedictis ML, Rigattieri S, Turri M, Anselmi M, et al. Radial versus femoral approach for percutaneous coronary diagnostic and interventional procedures. Systematic overview and meta-analysis of randomized trials. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:349-356
3. Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS, Carr JJ, Goldin JG, Greenland P, et al. Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. *Circulation* 2006;114:1761-1791
4. Hamon M, Biondi-Zoccai GG, Malagutti P, Agostoni P, Morello R, Valgimigli M, et al. Diagnostic performance of multislice spiral computed tomography of coronary arteries as compared with conventional invasive coronary angiography. A meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1896-1910
5. Stein PD, Beemath A, Kayali F, Skaf E, Sanchez J, Olson RE. Multidetector computed tomography for the diagnosis of coronary artery disease: a systematic review. *Am J Med* 2006;119:203-216
6. Scheffel H, Alkadhi H, Plass A, Vachenaue R, Desbiolles L, Gaemperli O, et al. Accuracy of dual-source CT coronary angiography: first experience in a high pre-test probability population without heart rate control. *Eur Radiol* 2006;16:2739-2747
7. Dewey M, Teige F, Schnapauff D, Laule M, Borges AC, Wernecke KD, et al. Noninvasive detection of coronary artery stenoses with multislice computed tomography or magnetic resonance imaging. *Ann Intern Med* 2006;145:407-415
8. Martuscelli E, Romagnoli A, D'Eliseo A, Razzini C, Tomassini M, Sperandio M, et al. Accuracy of thin-slice computed tomography in the detection of coronary stenoses. *Eur Heart J* 2004;25:1043-1048
9. Hoffmann MH, Shi H, Schmitz BL, Schmid FT, Lieberknecht M, Schulze R, et al. Noninvasive coronary angiography with multislice computed tomography. *JAMA* 2005;293:2471-2478
10. Hoffmann U, Moselewski F, Cury RC, Ferencik M, Jang IK, Diaz LJ, et al. Predictive value of 16-slice multidetector spiral computed tomography to detect significant obstructive coronary artery disease in patients at high risk for coronary artery disease: patient-versus segment-based analysis. *Circulation* 2004;110:2638-2643
11. Hoffmann U, Moselewski F, Nieman K, Jang IK, Ferencik M, Rahman AM, et al. Noninvasive assessment of plaque morphology and composition in culprit and stable lesions in acute coronary syndrome and stable lesions in stable angina by multidetector computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1655-1662
12. Kroft LJ, De Roos A, Geleij J. Artifacts in ECG-Synchronized MD-CT Coronary Angiography. *AJR Am J Roentgenol* 2007;189:581-591

13. 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
14. Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW, Goldstein JA. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2005;46:552-557
15. Ong TK, Chin SP, Liew CK, Chan WL, Seyfarth MT, Liew HB, et al. Accuracy of 64-row multidetector computed tomography in detecting coronary artery disease in 134 symptomatic patients: Influence of calcification. *Am Heart J* 2006; 151:1323.e1-1323.e6
16. Kuettner A, Kopp AF, Schroeder S, Rieger T, Brunn J, Meisner C, et al. Diagnostic accuracy of multidetector computed tomography coronary angiography in patients with angiographically proven coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:831-839
17. Sun Z, Lin CH, Davidson R, Dong C, Liao Y. Diagnostic value of 64-slice CT angiography in coronary artery disease: a systematic review. *Eur J Radiol* 2008;67:78-84
18. Geleijns J, Kroft LJM, Bax JJ, Lamb HJ, de Roos A. *Techniques for cardiovascular computed tomography*. In: Higgins CB, de Roos A. *MRI and CT of the cardiovascular system*, 2nd ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2005:37-52
19. Barrett J, Keat N. Artifacts in CT: recognition and avoidance. *Radiographics* 2004;24:1679-1691
20. Sarwar A, Rieber J, Mooyaart EA, Seneviratne SK, Houser SL, Bamberg F, et al. Calcified plaque: measurement of area at thin-section flat-panel CT and 64-section multidetector CT and comparison with histopathologic findings. *Radiology* 2008;249:301-306

Calcified Plaque of Coronary Artery: Factors Influencing Overestimation of Coronary Artery Stenosis on Coronary CT Angiography¹

Mok Hee Kim, M.D., Joon Seok Ko, M.D.², Yun-Hyeon Kim, M.D.^{1,3}, Song Choi, M.D.,
Hyun Ju Seon, M.D., Gwang Woo Jeong, M.D.^{1,3}, Jin Gyoong Park, M.D.^{1,3},
Heoung Keun Kang, M.D.^{1,3}

¹Department of Radiology, Chonnam National University Hospital

²Department of Radiology, Gwangju Veterans Hospital

³Department of Radiology and Research Institute of Medical Science, Chonnam National University Medical School

Purpose: To assess the influence of calcified plaque characteristics on the overestimation of coronary arterial stenosis on a coronary CT angiography (CCTA).

Materials and Methods: The study included 271 coronary arteries with calcified plaques identified by CCTA, and based on 928 coronary arteries from 232 patients who underwent both CCTA and invasive coronary angiography (ICA). Individual coronary arteries were classified into two groups by agreement based on the degree of stenosis from each CCTA and ICA: 1) group A includes patients with concordant CCTA and ICA results and, 2) group B includes patients with an overestimation of CCTA compared to ICA. Parameters including total calcium score, calcium score of an individual coronary artery, calcium burden number of an individual coronary artery, and the density of each calcified plaque (calcium score / number of calcium burden) for each individual coronary artery were compared between the two groups.

Results: Of the 271 coronary arteries, 164 (60.5%) were overestimated on CCTA. The left anterior descending artery (LAD) had a significantly low rate of overestimation (47.1%) compared to the other coronary arteries ($p=0.001$). No significant differences for total calcium score, calcium score of individual coronary artery, and the density of each calcified plaque from individual coronary arteries between two groups was observed. However, a decreasing tendency for the rate of overestimation on CCTA was observed with an increase in calcium burden of individual coronary arteries ($p<0.05$).

Conclusion: The evaluation of coronary arteries suggests that the degree of coronary arterial stenosis had a tendency to be overestimated by calcified plaques on CCTA. However, the rate of overestimation for the degree of coronary arterial stenosis by calcified plaques was not significantly influenced by total calcium score, calcium score of individual coronary artery, and density of each calcified plaque.

Index words : Coronary Artery Disease
Tomography, X-Ray Computed
Calcification, Physiologic
Coronary Angiography

Address reprint requests to : Yun-Hyeon Kim, M.D., Ph.D., Department of Radiology, Chonnam National University Hospital,
Research Institute of Medical Science, Chonnam National University Medical School
671, Jebongno, Dong-gu Gwangju 501-757, Korea.
Tel. 82-62-220-5747 Fax. 82-62-226-4380 E-mail: yhkim001@jnu.ac.kr