원 저

Korean Circulation J 2004;34(12):1167-1173

관상동맥질환의 진단에 있어서 Multidetector Computed Tomography의 임상적 유용성

이화여자대학교 의과대학 심장내과 내과학교실

오희정 · 권기환 · 박시훈 · 박성훈 · 이유현
유민아 · 김수현 · 송지현 · 김윤정

CT Coronary Angiography Using Multidetector Computed Tomography in Coronary Artery Disease : A Comparative Study to Quantitative Coronary Angiography

Hee Jung Oh, MD, Kihwan Kwon, MD, Si-Hoon Park, MD,
Seong-Hoon Park, MD, You-Hyun Lee, MD, Min-A Yu, MD,
Su-Hyun Kim, MD, Jihyun Song, MD and Yoon-Jung Kim, MD

Cardiovascular Center, Department of Internal Medicine, College of Medicine, Ewha Womans University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Background and Objectives : The purpose of the present study was to investigate the diagnostic accuracy of coronary stenoses in patients with ischemic heart disease using multidetector CT coronary angiography (MDCT) in the assessment of coronary artery disease. **Subjects and Methods** : Forty-three patients (49-72yrs) undergoing conventional coronary angiography (CCA) were included in this study. All patients were premedicated with oral propranolol, 40-80 mg, to achieve an acceptable heart rate of less than 65 bpm, 1hr before the MDCT. All coronary arteries, including the distal segments and side branches, were assessed with respect to assessability and the presence of significant stenosis (>50%) and the results compared with those of CCA. **Results** : Of the 645 coronary artery segments scanned, 540 were assessable (84%). A total 44 significant stenoses were detected by CCA and 49 lesions by MDCT. The overall sensitivity and specificity were 77 and 97%, respectively. The overall accuracy for the LAD, RCA and LCX was 94, 98 and 95%, respectively, and there were no differences in the accuracies in each vessel. The sensitivity in the proximal segments was much higher than in the distal segments. A total 15 segments were overestimated by the MDCT due to calcification and the small vessel size. **Conclusion** : MDCT, with improved spatial and temporal resolutions, and pre-treated with oral beta-blocker, permits the detection of coronary artery stenoses with a high degree of accuracy. **(Korean Circulation J 2004; 34(12):1167-1173)**

KEY WORDS : Coronary angiography ; Coronary artery stenoses ; Coronary stenosis.

논문접수일 : 2004년 5월 19일
수정논문접수일 : 2004년 8월 9일
심사완료일 : 2004년 9월 21일
교신저자 : 권기환, 158-710 서울 양천구 목동 911-1 이화여자대학교 의과대학 심장내과 내과학교실
전화 : (02) 2650-2640 · 전송 : (02) 2655-2076 · E-mail : kankadin@ewha.ac.kr

서 론

관상동맥질환을 진단하는데 있어 현재까지의 진단방법은 관혈적 관상동맥 조영술이었다. 이 시술은 현재까지의 여러 진단방법 중에 가장 정확한 방법이지만 침습적인 방법으로서, 드물지만 시술 중에 부정맥이나 관상동맥 박리 등의 치명적인 부작용이 생길 수 있다. 또한 침습적인 동맥천자와 삽관이 필요하며 이는 환자의 불편함과 입원을 요하는 단점이 있다.

Multi-detector CT coronary angiography(MDCT)가 1999년에 처음 등장하여 비침습적인 방법으로 관상동맥의 영상을 얻을 수 있게 되었다.[1)2)] 조영제를 주입하고 후향적 심전도 동조화(Retrospective ECG gating)하에 MDCT를 시행하여 관상동맥 조영술과 유사한 영상을 얻는 것이 가능해져서 이를 이용한 관상동맥 질환의 진단률이 높게 보고되고 있다.[3-5)] 그러나, MDCT를 통한 관상동맥 질환의 진단에는 여러 가지 제한점이 있다. 직경이 2 mm 이하인 혈관의 병변을 분석하기에는 MDCT의 해상도가 낮고, 혈관의 석회화는 인공물을 일으켜(blooming artifact) 혈관 내경을 실제보다 좁아 보이게 하는 문제점이 있다. 또한 심장박동에 따른 관상동맥의 움직임(motion artifact)이 있거나 부정맥이 있으면 MDCT를 성공적으로 시행하기 어렵다.

분석 가능한 양질의 관상동맥 영상을 얻는데 방해가 되는 가장 중요한 요인으로는 환자의 빠른 심장 박동수와 그에 따른 관상동맥의 움직임이 있으며, 그 외에 혈관주위의 석회화 등이 보고 되었다.[4)] 최근에는 심장 박동수가 낮을수록 MDCT의 관상동맥질환에 대한 민감도와 특이도를 향상시킬 수 있다는 연구 보고가 있다.[6)7)] 이에 본 연구에서는 베타차단제를 투여해서 심장 박동수를 조절 후 MDCT를 시행하였으며, 관상동맥 질환의 진단에 있어서 실제 허혈성 심질환 환자를 대상으로 관상동맥 조영술과 비교함으로써 MDCT의 정확도를 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

대 상

혈성 심질환으로 입원한 환자 중에서 관상동맥 조영술 시행 예정인 43명(남자 30명, 여자 13명)의 환자를 대상으로 하였으며, 평균연령은 56±11.15세였다(49~72세). 대상 환자들의 임상적 특성은 Table 1과 같다. 혈역학적으로 불안정하거나 심방세동 등의 부정맥이 있거나 심장 박동수가 분당 65회 이상이거나, 75세 이상인 경우는 대상에서 제외되었다. 분당 심박동수가 65회 이하로 조절되는 환자에서 조영 증강전 CT를 시행하여 관상동맥에 심한 석회화가 보이고, 이 부위의 칼슘 score가 300 이상으로 측정된 환자도 대상에서 제외하였다. 모든 환자는 MDCT시행 후 48시간 내에 관상동맥 조영술을 시행받았다. MDCT시행 전에 모든 환자에서 propranolol 40 mg에서 80 mg까지 경구 복용하여 65회 이하의 심장 박동수를 유지하였다.

Multidetector Computed Tomography(MDCT) scan protocol

16-slice MDCT(SOMATOM Sensation, Siemens Medical System, Germany)를 이용하여, 검출기 폭 조절은 12×0.75 mm, 겐트리 회전 시간(gantry rotation time)은 420 ms, 360도 회전 당 table 이동속도는 2.8 mm로 심전도 동조화를 하면서 촬영하였다. 18G 카테터를 이용하여 상완 정맥으로 80 mL의 비이온성 조영제(Omnipaque 300 ; Nycomed, Cork, Ire-land)를 초당 4 mL의 속도로 주입하고 이어서 20 mL의 생리 식염수를 초당 4 mL의 속도로 주입하였다. 상행대동맥에서 bolus tracking을 실시하여 100 HU(Hou-sefield Unit)되는 시점으로부터 6초 후 영상을 얻기 시작하였고, 호흡정지 하에 폐동맥간부터 심저까지 단면영상을 얻었다.

Table 1. Baseline characteristics of study patients (n=43)

Age (year)	56±11.15
Male (%)	30(70%)
Stable angina	8(19%)
Unstable angina	24(56%)
Acute MI	4(9%)
Old MI	7(16%)
Risk factor	
DM	12(28%)
Hypertension	21(49%)
Smoking	15(35%)
Hyperlipidemia	26(60%)
Body mass index (kg/m^2)	24.48±2.5

MI: myocardial infarction, DM: diadetes mellitus

영상의 재구성은 심장 재구성 소프트웨어(Syngo, Software Version A50 or A60, Siemens Medical System)를 이용하여 후향적 심전도 동조화 하에 재구성하였다.

영상 재구성과 분석

심장주기에서 R파와 R파 간격의 약 40~80% 사이에서 여러 개의 영상세트를 재구성을 한 후 최고의 질을 보이는 영상 세트를 선택하여 분석하였다. 영상은 횡단면 영상과 다면상 재구성(multiplanar reformation, MPR) 방법에 의해 American College of Cardiology/American Heart Association(ACC/AHA)의 분류법에 따른 15관상동맥 분절에서 협착에 관하여 분석하였다(Fig. 1). 각 관상동맥의 분절의 유의한 협착은 관상동맥 내경의 50% 이상으로 정의하였다.

관상동맥 조영술

관상동맥 조영술은 MDCT시행 48시간 내에 시행하였다. 관상동맥의 분절도 ACC/AHA 분류법에 따라 분석하였다(Fig. 1). 관상동맥 각 분절의 유의한 협착은 관상동맥 내경의 50% 이상 협착으로 정의하였다. 관상동맥 조영술 결과는 Quantitative Coronary Angiography(QCA ; Philips Medical Systems, Eindthoven, Netherlands)를 이용하여 분석되었다.

결과 분석

본 연구의 목적이 관상동맥 협착증의 진단에 있어 MDCT의 정확성 평가이므로, 관상동맥 조영술과 비교하여 유의한 관상동맥 협착증의 진단에 있어 민감도, 특이도, 양성예측도, 음성예측도, 그리고 정확도를 계산하였다.

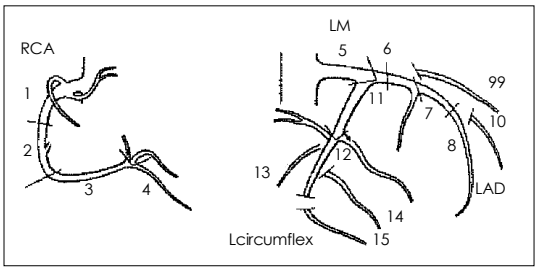

Fig. 1. Segmental anatomy of right coronary artery, and left coronary artery with left main, left anterior descending, and left circumflex according to American Heart Association (Quoted from Kopp, et al [11]). RCA: right coronary artery, LM: left main coronary artery.

결 과

대상 환자들의 CT 스캔 시간은 21±3초였고, MDCT를 시행하는 동안 모든 환자에게서 심각한 부작용은 없었다. 모든 환자에서 심장 박동수를 분당 65회 미만으로 유지했으며, 평균 심장 박동수는 분당 56±10회였다.

총 645개의 분절 중 84%인 540개 분절에서 MDCT로 분석 가능하였으며, 105개 분절에서 분석이 불가능하였는데 심장박동에 따른 관상동맥의 움직임에 의한 경우(motion artifact, 35분절 : 33% ; LAD : 5분절 ; LCX : 14분절 ; RCA ; 16분절), 혈관의 크기가 작은 경우(평균 혈관 직경<2.0 mm ; 55분절 : 53%), 그리고 scan 범위설정의 오류와 잘못된 조영제 투여시기 등의 기술적인 문제(15분절 : 14%)로 인한 경우였다.

MDCT로 분석 가능한 분절을 보인 총 36명의 환자들 중 관상동맥 조영술에서 관상동맥 협착이 있었던 경우는 22명이었다(1-vessel disease ; 9명, 2-vessel disease ; 9명, 3-vessel disease ; 4명). 각 분절별로 보면 관상동맥 조영술 결과 총 44개 관상동맥 분절에서

Table 2. Diagnostic accuracy of MDCT in diagnosis of coronary artery stenosis according to the vascular territory

	All evaluable segments	LAD	LCX	RCA
Segments (n)	540	216	180	144
Lesions by CCA (n)	44	20	14	10
Lesions by MDCT (n)	49	27	13	9
False positive (n)	15	10	4	1
Sensitivity (%)	77	85	64	80
Specificity (%)	97	95	98	99
PPV (%)	69	63	69	89
NPV (%)	98	98	97	99
Accuracy (%)	95	94	95	98

CCA: conventional coronary angiography, MDCT: multidetector computed tomography, PPV: positive predictive value, NPV: negative predictive value, LAD: left anterior descending artery, LCX: left circumflex artery, RCA: right coronary artery

협착이 있었는데 MDCT에서는 49개 분절에 협착이 있었으며, 관상동맥 조영술 결과와 비교할 때 MDCT의 진단 정확도는 평균 민감도 77%, 평균 특이도 97%, 평균 정확도 95%였다. 민감도는 좌전하행지, 우관상동맥, 좌회선지에서 각각 85%, 80%, 64%였으며, 특이도는 각각 95%, 99%, 98%, 그리고 정확도는 각각 94%, 98%, 95%로 각 혈관에 따른 차이는 없었다(Table 2). 관상동맥 분절의 위치별로 분류하였을 때는 민감도의 경우 근위부 혈관에서 100%로 원위부 혈관의 65%보다 높았으나 특이도나 정확도에서는 큰 차이가 없었다(Table 3).

총 15분절에서 위 양성의 결과가 나왔는데(LAD : 10분절, LCX : 4분절, RCA : 1분절), 11개 분절에서 관상동맥의 석회화가 원인이었고(Fig. 2), 4개 분절에서 평균 혈관 직경이 2.0±0.8 mm로 작은 혈관이었다(Table 4).

Table 3. Diagnostic accuracy of MDCT in diagnosis of coronary artery stenosis according to the vascular position

	Proximal segments*	Mid segments*	Distal segments*
Segments (n)	144	108	288
Lesions by CCA (n)	14	13	17
Lesions by MDCT (n)	19	13	17
False positive (n)	5	4	6
Sensitivity (%)	100	69	65
Specificity (%)	96	96	98
PPV (%)	74	69	65
NPV (%)	100	96	98
Accuracy (%)	97	93	96

CCA: conventional coronary angiography, MDCT: multidetector computed tomography, PPV: positive predictive value, NPV: negative predictive value, *: proximal, mid & distal segments were defined as below(Fig. 1). Proximal segment: 1,5,6,11. Mid segment: 2,7,12. Distal segment: 3,4,8,9,10,13,14,15

고 찰

본 연구 결과 전체 관상동맥 분절 중 84%에서 MDCT로 분석 가능한 영상을 얻을 수 있었으며, 관상동맥 조영술 결과와 비교하였을 때도 높은 정확성을 보였다. 이러한 결과는 관상동맥질환을 의심하는 환자에서 적절한 전 처치를 통하여 심장 박동수를 조절하고 심한 석회화

Table 4. Causes for false positive results in the coronary segments

Coronary artery	Calcification	Small vascular diameter
LAD (n=10)	9 (90%)	1(10%)
LCX (n=4)	1 (25%)	3(75%)
RCA (n=1)	1 (100%)	0(0%)
Overall (n=15)	11 (73%)	4(27%)

LAD: left anterior descending artery, LCX: left circumflex artery, RCA: right coronary artery

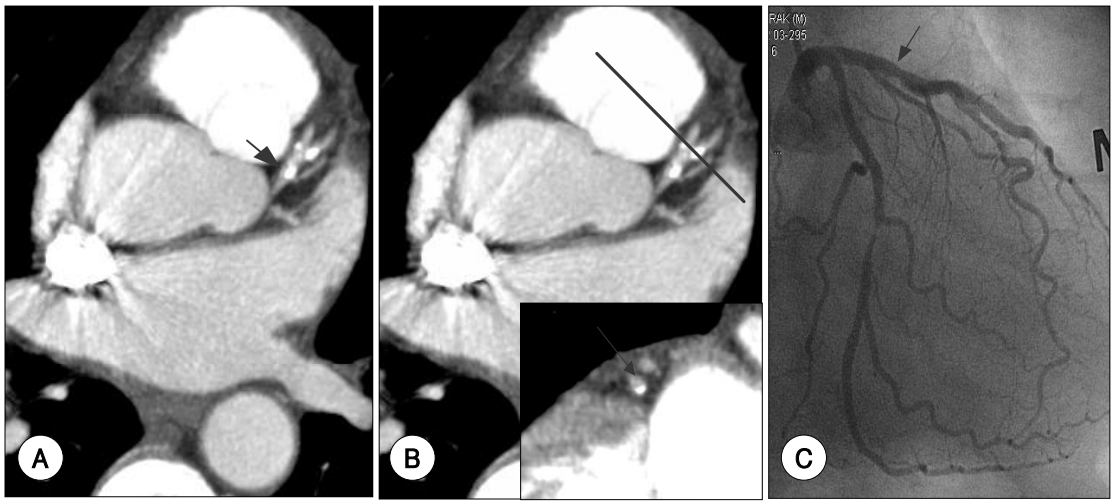

Fig. 2. Patient with minimal left anterior descending artery lesion. A: curved multiplanar reconstruction shows significant stenosis at LAD with calcification (arrow). B: cross section of involved vessel. Calcification with soft tissue plaque consist of the lumen. Lumen is narrow (arrow). C: however, conventional angiography shows minimal LCA lesion. This false positive finding of MDCT is due to heavy calcification of vessel (arrow).

병변이 없을 경우 MDCT를 통해서도 관상동맥 협착증을 진단할 수 있는 가능성을 제시하는 것이다.

본 연구 결과 평균 민감도는 77%, 특이도는 97% 그리고 정확도는 95%로 높은 진단의 정확성을 보였으며 이는 이전 16 slice MDCT의 결과와 유사 하였다.[8)9)] 본 연구 결과에서 진단의 정확성을 향상시킬 수 있었던 것은 먼저 16 slice MDCT를 사용한 점을 들 수 있다. 이전 연구들에서는 4 slice MDCT를 사용하였으며, 그 결과는 최근 개발된 16 slice MDCT를 사용한 결과들 보다 정확성이 낮게 보고되고 있다.[4-7)10)11)] 4-slice MDCT를 이용한 때와 비교하여 16-slice MDCT의 경우 검출기 폭 조절이 1 mm에서 0.75 mm로 좁아지고 공간해상도가 0.5×0.5×1.0 mm에서 0.5×0.5×0.6 mm로 좋아졌고, 한 번의 겐트리 회전 당 얻을 수 있는 횡단면 영상의 수가 4개에서 16개로 증가함으로써 스캔 시간이 40초에서 20초로 짧아져서 조영제의 사용량을 줄일 수 있으며 환자가 숨을 참아야 되는 시간이 더 짧아져서 호흡으로 인한 영향을 줄일 수 있으며 시간해상도는 125~250 ms에서 105~210 ms로 향상되어 심근의 움직임에 의한 인공물을 줄일 수 있다는 장점이 있다.[12)13)]

MDCT의 영상의 질을 결정하는 또 하나의 중요한 요소가 심장 박동수이다. Schroeder 등[6)]과 Nieman 등[7)]은 심장 박동수와 MDCT 영상의 질이 반비례함을 보고 했으며 심박수가 65회 이하일 때 최적의 분석 가능한 영상을 얻을 수 있음을 보여줬다. 심장 박동수가 중요한 이유는 MDCT의 시간 해상도가 심장 박동수의 제한을 받기 때문이다. 겐트리 회전 시간이 500 ms일 때 MDCT의 시간 해상도는 250 ms이며 한 번의 심장박동을 하나의 영상으로 재생 가능하다(single phase reconstruction). 심장 박동수가 65회 이상일 때는 시간해상도가 125 ms로 증가되어야 하며 두 번의 심장박동에서 얻어진 데이터를 하나의 이미지로 재생하는 방법(bi-phase reconstruction)이 사용된다. Kuettner 등[10)]의 결과는 한 번의 심장박동을 통해서 영상을 구성할 때(single phase reconstruction) 영상의 질이 더 좋았다고 보고했다. 또한 낮은 심장 박동수에서는 이완중기(mid diastolic)의 심근의 움직임이 없는 시간(motion free window)이 길어서 정지영상에 가까운 영상을 얻을 수 있다. 따라서 베타 차단제를 전 처치하여 심장 박동수를 65회 이하로 만들었을 때 이완중기의 시간이 길어져서 영상의 질이 높아진다. 본 연구에서는 베타차단제를 사용하여 평균 심장 박동수를 평균 56회로 감소시킴으로써 높은 민감도와 특이도를 얻을 수 있었다.

3개의 관상동맥은 심장의 주기에 따라 각각 다른 움직임을 보인다. 좌회선지와 우관상동맥은 심장고랑(coronary groove)에 위치하고 있기 때문에 좌전하행지보다 이완기에 더 빨리 움직인다. 이는 이완기 끝의 심방수축이 있기 때문이다. Achenbach 등[14)]은 EBCT(electron beam CT)에서 심장주기에 각각 관상동맥의 다른 움직임을 분석했는데 인공물을 줄이려면 acquisition window 시간이 짧아야 한다고 지적했는데 MDCT에서도 이 점은 적용된다. 본 연구에서 특이한 점은 우관상동맥의 정확도가 98%로 가장 높았다. 이는 분석 가능했던 우관상동맥에서 베타 차단제로 심근의 움직임을 배제할 수 있었고 또한 우관상동맥의 직경이 다른 혈관에 비해 컸던 점 때문으로 생각된다.

본 연구 결과 총 15분절에서 위 양성의 결과가 나왔는데(LAD : 10분절, LCX : 4분절, RCA : 1분절), 11개 분절에서 관상동맥의 석회화가 원인이었고, 4분절에서 평균 혈관 직경이 2.0±0.8 mm로 작은 혈관이었다. 석회화는 영상의 질을 결정하는 또 다른 중요 요소이다. 고밀도의 석회화는 병변의 구별을 어렵게 만들며, MDCT에서 혈관내경이 좁게 나타나 혈관 직경을 과소평가하게 된다. Kuettner 등[10)]은 MDCT에서 Agatston score로 335 이상의 칼슘 score는 분석하기 힘들다고 제시했다. 우리 연구에서는 칼슘점수 300이상의 영상은 대상에서 제외 시켰지만 11분절에서는 칼슘으로 인한 인공물이 있었다. 또한 여러 연구에서 제시하는 MDCT에서 분석 가능한 최소직경은 2 mm로 이보다 작은 직경의 곁가지 혈관은 MDCT에서 평가하기에 부적절하다. 이러한 점은 향후 64 slice MDCT가 보편화되면 어느 정도 개선될 수 있을 것이다.

본 연구 결과에서 MDCT의 음성예측도는 위치별로 나누었을 때나 혈관별로 나누었을 때나 98%로 높았다. 이는 MDCT의 역할을 제시하는 것으로 관상동맥 협착증이 없는 환자의 진단에 있어서 유용할 것으로 생각된다. 칼슘 점수와 관상동맥의 협착간에 유의한 상관관계를 보여주는 연구를 했던 Herzog 등[15)]은 비 전형적인 흉통을 호소하는 환자에서 MDCT의 진단적 유용성을 제시하였다. MDCT의 음성 예측도가 높기 때문에 전통적인 관상동맥 조영술과 관상동맥 성형술 전에 screening하는 진단방법으로써의 가치가 대두되는 것이다. 또한 관상

동맥 우회술 후의 협착이나 관상동맥 기형을 평가하는데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.[13)16)] 그러나 관동맥 중재술 후의 stent 협착정도를 평가하는 데는 금속으로 인한 인공물 때문에 현재는 부적절하며, 향후 기술적인 발전이 기대된다.[17)]

결론적으로 본 연구 결과 심장 박동수의 조절과 향상된 16 slice MDCT를 사용함으로써 전체 관상동맥 분절 중 84%에서 MDCT로 분석 가능한 영상을 얻을 수 있었으며, 관상동맥 조영술 결과와 비교하였을 때도 높은 정확성을 보였다. 비침습적인 MDCT를 통해서도 관상동맥 협착증을 진단할 수 있는 가능성을 제시하는 것이다.

요 약

배경 및 목적 :

침습적인 관상동맥 조영술을 대신하여 비침습적인 방법으로 소개된 MDCT를 이용하여 CT 혈관조영술(MDCT)의 민감도와 진단의 정확도를 알아보고자 하였다.

방 법 :

허혈성 심질환으로 전통적인 관상동맥 조영술시행 예정인 환자 43명을 대상으로 MDCT와 전통적인 관상동맥 조영술을 2일 간격으로 시행하였고 모든 환자에서 베타 차단제를 이용하여 65회 이하의 심장 박동수를 유지했다. 관상동맥 조영술의 결과를 기준으로 하여 MDCT의 민감도, 특이도, 진단적 정확도를 측정했다.

결 과 :

43명의 환자의 총 645개의 분절 중 84%에서 MDCT로 분석가능한 영상을 얻을 수 있었다. 관상동맥 조영술 결과 총 44개 관상동맥 분절의 협착에서 MDCT의 진단 정확도는 평균 민감도 77%, 평균 특이도 97%, 평균 정확도 95%였다. 각 관상동맥 별 정확도는 좌전하행지, 우관상동맥, 좌회선지가 각각 95%, 98%, 95%로 우관상동맥의 민감도가 다른 연구에 비해 높았다. 근위부 동맥, 원위부 동맥으로 나누었을 때 각각의 민감도는 100%, 65%로 근위부 동맥에서 높았다. 위양성의 결과가 15분절에서 있었는데 이는 관상동맥의 석회화와 혈관직경이 작은 경우에서였다.

결 론 :

본 연구에서는 심장 박동수의 조절과 향상된 16 slice MDCT를 사용함으로써 전체 관상동맥 분절 중 84%에서 MDCT로 분석가능한 영상을 얻을 수 있었으며, 관상동맥 조영술 결과와 비교하였을 때도 높은 정확성을 보였다. 이는 비침습적인 MDCT를 통해서도 관상동맥 협착증을 진단할 수 있는 가능성을 제시하는 것이다.

중심 단어 : 관상동맥조영술 ; 관동맥협착 ; 관상동맥질환.

REFERENCES

1) Ohnesorge B, Flohr T, Becker C, Kopp AF, Schoepf UJ, Baum U, Knez A, Klingenbeck-Regn K, Reiser MF. *Cardiac imaging by means of electrocardiographically gated multisection spiral CT: Initial experience. Radiology 2000;217:564-71.*
2) Klingenbeck-Regn K, Schaller S, Flohr T, Ohnesorge B, Kopp AF, Baum U. *Subsecond multi-slice computed tomography: basic and application. Eur J Radiol 1999;31:110-24.*
3) Becker CR, Ohnesorge B, Schoepf UJ, Reiser MF. *Current development of cardiac imaging with multidetector-row CT. Eur J Radiol 2000;36:97-103.*
4) Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, van Ooijen P, Munne A, van Geuns RJ, Feyter PJ. *Coronary angiography with multislice computed tomography. Lancet 2001;357:599-603.*
5) Achenbach S, Giesler T, Roper D, Ulzheimer S, Derlien H, Schulte C, Wenkel E, Moshage W, Bautz W, Daniel WG, Kalender WA, Baum U. *Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electroardiographically-gated, multislice spiral computed tomography. Circulation 2001;103:2535-8.*
6) Schroeder S, Kopp AF, Kuettner A, Burgstahler C, Herdeg C, Heuschmid M, Baumbach A, Claussen CD, Karsch KR, Seipel L. *Influence of heart rate in vessel visibility in noninvasive coronary angiography using new multislice computed tomography: experience in 94 patients. Clin Imaging 2002;26:106-11.*
7) Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RJ, Vos J, Pattynama PM, Krestin GP, Serruys PW, de Feyter PJ. *Non-invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography: impact of heart rate. Heart 2002;88:470-4.*
8) Ropers D, Baum U, Pohle K, Anders K, Ulzheimer S, Ohnesorge B, Schlundt C, Bautz W, Daniel WG, Achenbach S. *Detection of coronary artery stenoses wih thin-slice multidetector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. Circulation 2003;107:664-6.*
9) Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, Raaijmakers R, Pattynama P, de Feyter PJ. *Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. Circulation 2002;106:2051-4.*
10) Kuettner A, Kopp AF, Schroeder S, Rieger T, Brunn J, Meisner C, Heuschmid M, Trabold T, Burgstahler C, Martensen J, Schoebel W, Selbmann HK, Claussen CD. *Diagnostic accuracy of multidetector computed tomography coronary angiography in patients with angiographically proven coronary artery disease. J Am Coll Cardiol 2004;43:831-9.*
11) Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A, Baumbach A, Georg C, Kuzo R, Heuschmid M, Ohnesorge B, Karsch KR, Claussen CD. *Non-invasive coronary angiography with high resolution multidetector-row computed tomography: results in 102 patients. Eur Heart J 2002;23:1714-25.*
12) Kopp AF. *Angio-CT: heart and coronary arteries. Eur J*

Radiol 2003;45:S32-6.

13) Achenbach S, Hoffmann U, Ferencik M, Wicky S, Brady TJ. *Tomography coronary angiography by EBCT and MDCT. Prog Cardiovasc Dis 2003;46:185-95.*

14) Achenbach S, Ropers D, Holle J, Muschiol G, Moshage WG, Daniel WG, Moshage W. *In-plane coronary arterial motion velocity: measurement with election-beam CT. Radiology 2000;216:457-63.*

15) Herzog C, Britten M, Balzer JO, Mack MG, Zangos S, Ackermann H, Schaechinger V, Schaller S, Flohr T, Vogl TJ. *Multidetector-row cardiac CT: diagnostic value of calcium scoring and CT coronary angiography in patients with symptomatic, but atypical, chest pain. Eur Radiol 2004;14:169-77.*

16) Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, Baum U, Giesler T, Derlien H, Moshage W, Bautz WA, Daniel WG, Kalender WA, Achenbach S. *Investigation of aortocoronary artery bypass grafts by multi spiral computed tomography with electrocardiographic-gated image reconstruction. Am J Cardiol 2001;88:792-5.*

17) Storto ML, Marano R, Maddestra N, Caputo M, Zimarino M, Bonomo L. *Images in cardiovascular medicine: multislice spiral computed tomography for in-stent restenosis. Circulation 2002;105:2005.*