심장전산화단층촬영을 이용한 관상동맥 죽상경화반의 분류 : 혈관내초음파 결과를 통한 후향적 분석

Analysis of Coronary Artery Atheromatous Plaque by Cardiac Computed Tomographic Angiography : Retrospective Analysis of Intravascular Ultrasound Results

최재성*, 한재복**, 최남길**

전남대학교 생물과학·생명기술학과*, 동신대학교 방사선학과**

Jae-Sung Choi(mt00401@nate.com)*, Jae-Bok Han(way2call@naver.com)**,
Nam-kil Choi(crs723@hanmail.net)**

요약

관상동맥 죽상경화반(atheromatous plaque)의 진단에 있어 혈관내초음파(Intravascular Ultrasound: IVUS)와 비교하여 심장전산화단층촬영(Cardiac Computed Tomographic Angiography: CCTA)의 진단 정확도를 알아보고, IVUS에서 발견된 죽상경화반의 성상을 CCTA에서 전산화단층촬영 수치(Hounsfield Unit: HU)로 구하고자 하였다. 2006년 4월부터 2008년 8월까지 관상동맥질환(Coronary Artery Disease: CAD)으로 확진 되었거나 CAD가 의심스러운 환자들 중 CCTA를 시행하여 죽상경화반을 발견하고 추후 IVUS를 시행한 200명의 환자를 대상으로 하였다. CCTA후 IVUS를 시행한 200명의 환자에서 476개의 죽상경화반이 발견되었으며, CCTA에서는 460개의 죽상경화반이 발견되었다. IVUS의 결과는 soft plaque(n; 84), fibrous plaque(n; 63), mixed plaque(n; 97), calcific plaque(n; 232)이었다. 이 결과에 따라 IVUS에서 분류된 죽상경화반의 HU는 soft plaque : 53.8 ± 10.5 , fibrous plaque : 108.1 ± 20.0 , mixed plaque : 371.2 ± 113.1 , 그리고 calcific plaque : 731.0 ± 160.4 이었으며, CCTA에서 민감도와 신뢰구간은 97%, 95.0-98.3이었다. CCTA를 이용한 관상동맥 죽상경화반의 진단을 위한 이번 연구에서 IVUS와 비교하여 높은 민감도와 신뢰구간을 확인할 수 있었고, IVUS 결과를 기준으로 CCTA에서 분석한 HU를 통해 죽상경화반의 성상을 구분할 수 있어 CAD 환자의 치료에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

■ 중심어 : | 심장전산화단층촬영 | 죽상경화반 | 전산화단층촬영수치 | 혈관내초음파 |

Abstract

In the diagnosis of coronary artery atheromatous plaque, Cardiac computed tomography (Cardiac Computed Tomographic Angiography: CCTA) compared with IVUS(Intravascular Ultrasound: IVUS) investigate the diagnostic accuracy, Interested in CCTA atheromatous plaque in computed tomography values(Hounsfield Unit: HU) try to find out. From April 2006 to August 2008 among coronary artery disease(Coronary Artery Disease: CAD) patients with confirmed or suspicious of CAD by CCTA performed atherosclerotic plaques and found 200 patients who underwent IVUS were enrolled. 200 patients who underwent CCTA and IVUS results from the 476 plaque was found, IVUS results of the soft plaque(n; 84), fibrous plaque(n; 63), mixed plaque (n; 97), calcific plaque(n; 232). The results are classified according to the IVUS plaque in HU in the soft plaque : 53.8 ± 10.5 , fibrous plaque : 108.1 ± 20.0 , mixed plaque : 371.2 ± 113.1 , and calcific plaque : 731.0 ± 160.4 . CCTA had sensitivity of 97% and confidence interval of 95.0-98.3. This study that is the diagnosis of coronary atheromatous plaque for using CCTA, we confirm the high sensitivity and the confidence interval Based on IVUS results CCTA atheromatous plaque with HU in the analysis could be classified to characterize in the treatment of patients with CAD is expected to help.

■ keyword : | CCTA | Atheromatous Plaque | Hounsfield Unit | IVUS |

I. 서론

관상동맥질환(Coronary Artery Disease: CAD)은 뇌졸중, 암 등과 더불어 현대인의 주요한 사망 원인 중 하나이다[1]. CAD는 심장의 관상동맥에 죽상경화반이 침착되면서 혈관내강이 좁아져 심장 근육의 혈류공급에 장애가 생기는 질환으로 임상적으로 협심증, 심근경색증, 돌연사, 만성 허혈성 질환 중 하나의 양상으로 나타난다. 이 질환의 검사법으로는 심전도(ECG), 심장초음파, 운동부하검사와 활동혈압측정, 단일광자방출단층촬영(SPECT), 관상동맥조영술(Coronary Angiography: CAG), 혈관내초음파(Intravascular Ultrasound: IVUS), 심장전산화단층촬영(Cardiac Computed Tomographic Angiography: CCTA), 심장자기공명영상(CMRI)등 여러 검사법들이 있지만 현재 임상적 유용성을 고려하여 가장 널리 쓰이고 있는 검사법은 CAG이다[2]. 이 검사법은 시간 및 공간해상도가 뛰어나고 관상동맥 풍선 확장술, 스텐트 삽입술과 같은 중재적 시술을 직접적으로 시행할 수 있다는 장점으로 CAD의 표준 검사법으로 자리를 잡아 왔다. 그러나 CAG는 관강조영(luminogram)이며, 이차원적인 평면영상이므로 정확한 죽상경화반을 진단하기는 어렵다. 반면 IVUS는 죽상경화반의 심한 정도를 in-vivo 상태에서 파악할 수 있는 방법으로 CAG 및 중재적 시술 과정에서 사용하는 검사법이다. 이 검사법을 통하여 관상동맥 내에서 혈전의 생성을 유발하는 죽상경화반의 파열 및 미란 등의 병변을 형태학적으로 확인할 수 있고, 혈관벽의 구조, 내경에 대한 정확한 정보를 줄 수 있는 가장 신뢰할 만한 검사로 알려져 있다[3-5]. 하지만 CAD의 대표적인 검사법인 CAG와 IVUS는 침습적인 방법으로 비록 부작용 발생 확률이 낮으나 부정맥, 뇌졸중, 관상동맥박리 등의 위험한 합병증이 생길 수 있다는 단점이 있으며[6], 또한 전체 CAG에서 약 1/3정도가 관상동맥 중재술이 필요하고 나머지는 단지 CAD의 존재유무를 확인하는 검사만 시행되므로 증상이 없는 환자에서 CAD의 평가를 위해서는 비용측면 뿐만 아니라 안전하고 비침습적인 검사방법의 필요성이 대두되었다[7]. 전산화단층촬영은 최근 수년간 이루어진 기술적 진보에 힘입어 비침습적

인 방법으로 심장 및 관상동맥의 영상을 얻는 것이 가능하게 되었다[8][9]. CCTA를 통해 관상동맥 석회화를 정량화하고, 심혈관계 사건 발생을 효과적으로 예측할 수 있을 뿐만 아니라 관상동맥 협착의 유무 및 위치, 그리고 관상동맥 죽상경화반의 특성 등 광범위한 정보를 얻을 수 있다[10].

이에 이번 연구는 관상동맥 죽상경화반의 진단에 있어 정확한 검사법인 IVUS와 비교하여 CCTA의 진단 정확도를 알아보고, IVUS에서 발견된 죽상경화반의 결과를 토대로 CCTA에서 성상에 따른 전산화단층촬영 수치(Hounsfield Unit: HU)를 분석하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 기간 및 대상

2006년 4월부터 2008년 8월까지 CAD로 확진 되었거나, CAD가 의심스러운 환자들 중 CCTA에서 죽상경화반을 발견하고 중재적 시술 전 IVUS를 시행한 200명의 환자를 대상으로 하였다. 성별로는 남성이 124명(62%), 여성이 76명(38%), 연령분포는 38-89세(평균연령 : 64 ± 10 세)였다.

2. 검사 방법

1) 심장전산화단층촬영(CCTA)

(1) 환자의 전처치

CCTA를 시행하기 4시간 전에 조영제 부작용을 줄이기 위해 금식하였고 카페인 등은 섭취하지 않았다. CCTA 검사 대상 환자에서 심박동수가 60 beats/min 이상인 경우 베타 차단제(atenolol, tepra) 25-75 mg을 CCTA 촬영 1시간 전에 복용하여 심박동수를 60 beats/min 이하로 유지하였다. 조영제 주입을 위하여 우측 팔에 18-20 gauge의 정맥주사 도관을 삽입하였고, 심리적 불안감에 의해 심박동수가 빨라지는 것을 막기 위해 최대한 안정을 취하도록 유도하였다.

(2) 검사 방법

전산화단층촬영 장비(Sensation Cardiac 64, Siemens,

Forchheim, Germany)는 330 msec의 X선 관구 회전속도를 갖는 64채널 다중검출기전산화단층촬영장비(Multi Detector Computed Tomography: MDCT)를 사용하였으며, 환자의 심박동수가 60 beats/min 이하로 안정된 후 심전도 동조화를 위하여 환자 가슴 부위에 심전도 장치를 부착하여 심전도를 모니터링하였다. 조영증강을 위해 환자의 팔에 확보된 수맥선을 통해 조영제(Iopromide 370 mgI/mL, Ultravist) 70 cc를 주입한 후, 이어서 생리식염수 60 cc를 주입하였다. 조영제 및 생리식염수의 주입은 자동 수액 주입기(Empower CTA injector system, E-Z-EM Inc, Westbury, NY, USA)를 이용하여 4.5 cc/sec의 속도로 급속 주입하였다. 조영제 주입 후 환자의 상행 대동맥의 관심영역에서 일정 역치(100 HU)를 넘으면 6초의 스캔 지연시간 후에 기관 분지부에서 심장 기저부까지 심전도 동조화와 함께 CCTA를 시행하였다. CCTA 검사 시 측정기의 폭 조절은 0.75 mm였으며, 커널값(Kernel value)은 B25f였다. 이때 사용한 유효 관전류(effective mAs)는 800 mAs였고, 피치 팩터(pitch factor)는 0.2였다.

3. 분석 방법

1) 심장전산화단층촬영(CCTA)

심장주기에서 R-R 간격의 약 65% 데이터를 기본적으로 획득 하였고, 이 데이터가 움직임에 의한 허상(motion artifact)으로 인하여 관상동맥 구조를 정확하게 표현할 수 없을 때 R-R 간격의 30-70% 사이에서 여러 개의 영상세트를 재구성한 후 최고의 질을 보이는 영상 세트를 선택하여 획득 데이터를 Wizard™(Siemens Medical Solution, Forchheim, Germany)에서 다면상 재구성(Multi Planar Reformation: MPR) 방법으로 단축상(short axis), 이방상(2 chamber), 사방상(4 chamber), 굽어진 다면상(curved MPR)으로 재구성하였다. 그 후 재구성된 영상을 영상저장 및 전송 시스템(Picture Archiving and Communication System: PACS)으로 전송을 한 후 죽상경화반을 HU로 측정하였다[그림 1].

그림 1. CCTA에서 죽상경화반의 HU 측정

2) 혈관내초음파(IVUS)

IVUS 분류는 미국 심장학회 보고서에 따라 바깥 탄력막(External Elastic Membrane: EEM)의 에코 음영(echo density)이 기준이 되며, 죽상경화반의 에코 음영이 EEM보다 감소된 경우가 soft plaque, 같거나 증가된 경우 fibrous plaque, fibrous plaque의 일부에서 에코 음영이 과도하게 증가 되어 후방 음향 음영(post acoustic shadowing)을 동반하는 calcific plaque이 동시에 존재하는 경우 Mixed plaque, 죽상경화반의 에코 음영이 EEM의 에코 음영보다 강하면서 후방 음향 음영을 동반하고 그 범위가 죽상관의 90도 이상의 범위를 차지할 경우 calcific plaque로 분류하였다[11][그림 2].

그림 2. IVUS 영상에서 에코음영에 따른 죽상경화반의 형태학적 분류, A-B : 정상, C : Soft plaque, D : Fibrous plaque, E : Mixed plaque, F : Calcific plaque

4. 통계적 분석

통계적 분석은 SPSS 프로그램 (SPSS 12.0 for Windows)을 사용하여 IVUS 결과와 비교한 CCTA에서 죽상경화반의 진단 정확도를 평가하기 위해 민감도와 신뢰구간을 계산하였고, CCTA에서 죽상경화반의 성상의 HU는 평균, 표준편차로 나타내었다.

III. 결 과

1. 혈관내초음파와 비교한 심장전산화단층촬영의 진단 정확도 평가

IVUS에서는 총 476개의 죽상경화반이 진단되었고, CCTA에서는 총 460개의 죽상경화반을 진단 할 수 있었다. 각각의 주요 혈관별로는 LM(56건/56건), LAD(181건/187건), LCX(105건/108건), RCA(118건/125건)으로 나타났으며, IVUS와 비교하였을 때 CCTA의 민감도와 신뢰구간은 97%, 95.0-98.3 이었다 [표 1].

표 1. IVUS와 비교한 CCTA에서 죽상경화반의 진단정확도

Coronary artery	N	Sensitivity(%)	Confidence Interval(95%)
All	476	97	95.0 - 98.3
LM	56	100	100 - 100
LAD	187	97	94.3 - 99.3
LCX	108	97	94.1 - 100
RCA	125	94	90.4 - 98.4

2. 혈관내초음파 결과를 통한 심장전산화단층촬영에서 죽상경화반의 분석

CCTA 후 IVUS를 시행한 200명의 환자에서 476의 죽상경화반이 발견되었으며, IVUS를 분석해 본 결과 soft plaque(n=84개), fibrous plaque(n=63개), mixed plaque(n=97개), calcific plaque(n=232개)이었다. 이 결과를 토대로 각각 죽상경화반의 HU를 측정한 결과 soft plaque : 53.8 ± 10.5 , fibrous plaque : 108.1 ± 20.0 , mixed plaque : 371.2 ± 113.1 , 그리고 calcific plaque : 731.0 ± 160.4 으로 측정되었다[표 2][그림 3-6].

표 2. CCTA에서 죽상경화반의 성상에 따른 HU

IVUS classification	Hounsfield unit	
	Mean $\pm$ SD	Mean SD $\pm$ SD
soft plaque	53.8 ± 10.5	21.0 ± 5.2
fibrous plaque	108.1 ± 20.0	29.5 ± 10.6
mixed plaque	371.2 ± 113.1	193.6 ± 74.9
calcific plaque	731.0 ± 160.4	128.2 ± 49.3

그림 3. IVUS와 CCTA에서 soft plaque 영상

A : 좌전하행지 근위부의 IVUS 영상
B : 좌전하행지 근위부의 CCTA 단축상

그림 4. IVUS와 CCTA에서 fibrous plaque 영상

A : 우관상동맥 근위부의 IVUS 영상
B : 우관상동맥 근위부의 CCTA 단축상

그림 5. IVUS와 CCTA에서 mixed plaque 영상
A : 좌전하행지 근위부의 IVUS 영상
B : 좌전하행지 근위부의 CCTA 단축상

그림 6. IVUS와 CCTA에서 calcific plaque 영상
A : 좌전하행지 근위부의 IVUS 영상
B : 좌전하행지 근위부의 CCTA 단축상

IV. 고 찰

CAD란 관상동맥 내막에 죽상경화반이 침착되어 혈관 내강이 좁아지는 질환으로 진단 및 치료방법을 결정하기 위해 CAG를 표준검사로 간주하고 현재까지 많이 이용하고 있지만 이 검사법은 관상동맥을 이차원적인 영상으로 나타내므로 관상동맥의 내강 상태만을 알 수 있고 협착정도를 평가함에 있어 분석자의 시각에 의해 차이가 있으며 석회화, 혈전, 내막박리 등의 구별이 어렵다는 제한점 있어 필요에 따라 혈관 내강뿐만 아니라 혈관 벽 전체의 단면적 영상을 제공하는 IVUS를 중재적 시술 전 시행한다. IVUS는 혈관의 협착 정도를 정확히 평가할 수 있고, 혈관 크기 및 병변 길이의 평가가 가능해 관상동맥 중재적 시술 중 풍선이나 스텐트 크기 결정에 결정적인 역할을 하며, CAG로는 평가가 불가능 하였던 혈관 내 죽상경화반의 상태나 종류, 동맥 재형성 등의 정보를 제공한다. 하지만 CAG 및 IVUS는 침

습적인 검사법이며 이에 따른 부작용 및 합병증의 위험이 있을 뿐만 아니라 검사비용, 검사 전 입원 등의 이유로 CAD 환자들에게 적지 않은 부담감을 준다. 이러한 이유로 비침습적 검사법들의 필요성이 대두되고 있는 실정이다[12].

최근 많은 검사가 이루어지고 있는 CCTA의 가장 큰 장점은 CAD를 진단하는데 있어 관상동맥의 협착정도 뿐만 아니라 급성 CAD를 유발하는 죽상경화반의 특성을 비침습적으로 영상화할 수 있으며, 이를 조기에 발견하고 쉽게 추적 관찰할 수 있다는 것이다[13].

이번 연구에 이용한 CT 장비는 64개 열을 가지고 있는 MDCT로 과거 장비에 비해 시간분해능의 향상으로 심장의 움직임에 의한 허상 발생을 줄였고, 높아진 공간분해능으로 복잡한 해부학적 양상을 가지고 있는 관상동맥 혈관을 영상화 할 수 있었다. 또한 대조도 분해능의 향상으로 관상동맥의 경화반 내에 보다 낮은 감쇠계수와 높은 감쇠계수를 육안으로 확인할 수 있어 지방 음영부터 석회화 음영까지 죽상경화반의 다양한 음영이 구별 가능하여 성상에 따른 HU 값을 구할 수가 있었다.

관상동맥 죽상경화반의 성상은 초기에 soft plaque으로 시작되고 이것이 진행되면 fibrous plaque, 마지막에는 calcific plaque으로 형성된다. 최근 폐쇄성 CAD에 대한 혈전용해 및 중재적 시술의 발전으로 동맥벽의 구조와 관상동맥 내 혈전의 유무 등 보다 상세한 형태학적 정보가 중요하게 되었다. IVUS는 지방조직 및 섬유성 조직, 석회화 조직 등 죽상경화반의 각 구성요소들의 음향 임피던스가 서로 다르기 때문에 죽상경화반의 성상을 파악할 수 있다[14][15]. 즉, 결체조직 성분을 많이 갖고 있는 calcific plaque은 고초음파 반사도를, 그리고 지방 성분이 많은 soft plaque은 저 초음파 반사도를 보임으로써 이들을 구별할 수 있다. Soft plaque은 섬유질 막으로 덮여 있으며, 내부는 지방 및 괴사조직으로 구성된다. 이러한 섬유질막이 연약하고 죽상경화반 중심부 주위에 많은 지질을 함유하고 있다면 쉽게 파손되는 취약성 경화반 상태에 이르게 된다[16]. 이러한 이유로 관상동맥의 협착 정도도 중요하지만 죽상경화반의 성상을 구분하는 것 역시 중요하다 할 수 있다

[17].

CCTA에서 취약성 경화반은 석회화 동반여부와 무관하게 조영 증강된 혈관과 비교하여 저음영으로 보이는 원주상의 병변으로 나타난다. 하지만 그림 3-4에서 보듯이 CCTA에서 soft plaque과 fibrous plaque의 저음영의 병변은 mixed plaque이나 calcific plaque과는 달리 육안으로 구분하는 것이 쉽지 않다. 따라서 죽상경화반의 성상에 따른 HU(soft plaque : 53.8, fibrous plaque : 108.1)를 측정함으로써 저음영 죽상경화반의 성상을 구분할 수 있을 것으로 생각된다.

죽상경화반의 HU를 측정하기 위해 CT 장비가 아닌 PACS를 이용하였고 이는 관심영역 지정 시 평균값과 표준편차값이 측정되기 때문에 PACS가 설치된 어떤 곳이든 측정이 가능하다. 이번 연구에서 측정된 죽상경화반의 HU는 성상에 따라 다양하게 나타났으며 다른 죽상경화반에 비해 mixed plaque의 표준편차에 대한 평균값이 높은 것으로 측정되었다. 그 이유는 다양한 성상의 경화반, 즉 non-calcific plaque과 calcific plaque이 섞여 있으므로 발생하는 불균일성 때문으로 보여 진다.

이번 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 죽상경화반이 있는 환자에게 대하여만 IVUS를 시행하였기 때문에 IVUS와 CCTA의 진단정확도를 평가함에 있어 여러 가지 통계학적 방법을 적용할 수 없었던 점을 들 수 있다. 그러나 이 연구의 목적은 CCTA를 이용하여 죽상경화반을 분석하는 방법에 대해 의의를 두었으며 향후 추가적으로 환자군의 설정에 다양한 조건들을 추가 되었으면 한다.

둘째, CCTA를 통해 환자가 받은 유효선량은 평균 11.88mSv로 CAG 검사의 2.1~2.5mSv보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있었다. 이는 심장의 영상 획득방법 중 심장의 주기에 상관없이 연속적인 촬영을 요하는 후향적 동조화 기법을 이용하였기 때문이며, 이로 인해 환자의 피폭선량이 늘어났다. 따라서 추후 CT를 이용하여 죽상경화반의 성상을 연구하기 위해서는 최근 개발된 이중선원 CT(전향적 동조화 이용 시 1~5mSv)를 이용하거나 CT의 재구성 방법 중 하나인 통계적 반복 재구성법(ASIR)을 통하여 영상의 질 저하없이 피폭선량을 줄일 수 있는 기법[18]들을 이용하여 진행되길 바

란다.

마지막으로 죽상경화반의 성상에 따른 HU의 측정오차를 들 수 있다. 이는 죽상경화반의 HU를 측정할 때 분석자들 간에 따라 차이를 보일 수 있어 향후 더 많은 분석자들에 의해 죽상경화반의 성상에 따른 HU가 측정되길 기대하는 바이다.

V. 결 론

CCTA를 이용한 관상동맥 죽상경화반의 분석을 위한 이번 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. IVUS와 비교하여 CCTA는 관상동맥 죽상경화반을 진단하는데 있어서 민감도와 신뢰구간이 높은 검사법이다.
2. IVUS 결과를 기준으로 하여 CCTA에서 얻은 관상동맥 죽상경화반의 성상에 따른 HU는 soft plaque(53.8 ± 10.5), fibrous plaque(108.1 ± 20.0), mixed plaque(371.2 ± 113.1), calcific plaque(731.0 ± 160.4)으로 분류할 수 있다.

따라서 CCTA는 비침습적이며, 관상동맥 죽상경화반을 진단하는데 정확한 검사법으로 HU를 통해 죽상경화반의 성상을 구분할 수 있어 CAD 환자의 치료에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] J. Tuomilehto, K. Kuulasmaa, and J. Torppa, "WHO MONICA Project: geographic variation in mortality from cardiovascular diseases. Baseline data on selected population characteristics and cardiovascular mortality," Q. World Health Stat, Vol.40, No.2, pp.171-184, 1987.
- [2] 이원로, 홍경표, 박표원, 김덕경, 임상 심장학, 고려의학, pp.14:233-18:338, 1988.
- [3] R. A. Nishimura, W. D. Edwards, C. A. Warnes,

- G. S. Reeder, D. R. Holmes Jr, A. J. Tajik, and P. G. Yock, "Intravascular ultrasound imaging: in vitro validation and pathologic correlation," J. Am Coll Cardiol, Vol.16, No.1, pp.145-154, 1990.
- [4] E. J. Gussenhoven, C. E. Essed, C. T. Lancée, F. Mastik, P. Frietman, F. C. van Egmond, J. Reiber, H. Bosch, H. van Urk, and J. Roelandt, "Arterial wall characteristics determined by intravascular ultrasound imaging: an in vitro study," J. Am Coll Cardiol, Vol.14, No.4, pp.947-952, 1989.
- [5] J. M. Hodgson, K. G. Reddy, R. Suneja, R. N. Nair, E. J. Lesnefsky, and H. M. Sheehan, "Intracoronary ultrasound imaging: correlation of plaque morphology with angiography, clinical syndrome and procedural results in patients undergoing coronary angioplasty," J. Am Coll Cardiol Vol.21, No.1, pp.35-44, 1993.
- [6] P. J. Scanlon, D. P. Faxon, A. M. Audet, B. Carabello, G. J. Dehmer, K. A. Eagle, and R. D. Legako, ACC/AHA guidelines for coronary angiography, A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines (Committee on Coronary Angiography), "Developed in collaboration with the Society for Cardiac Angiography and Interventions," J. Am Coll Cardiol, Vol.33, No.6, pp.1756-1824, 1999.
- [7] M. H. Song, T. Ito, T. Watanabe, and H. Nakamura, "Multidetector computed tomography versus coronary angiogram in evaluation of coronary artery bypass grafts," Ann Thorac Surg, Vol.79, No.2, pp.585-588, 2005.
- [8] K. Klingenberg-Regn, S. Schaller, T. Flohr, B. Ohnesorge, A. F. Kopp, and U. Baum, "Subsecond multi-slice computed tomography: basics and applications," J. Eur Radiol, Vol.31, No.2, pp.110-124, 1999.
- [9] B. Ohnesorge, T. Flohr, C. Becker, A. F. Kopp, U. J. Schoepf, U. Baum, A. Knez, K. Klingenberg-Regn, and M. F. Reiser, "Cardiac imaging by means of electrocardiographically gated multisection spiral CT: initial experience," Radiology, Vol.217, No.2, pp.564-571, 2000.
- [10] Y. H. Choe, "Noninvasive Imaging of Atherosclerotic Plaques Using MRI and CT," Korean Circ J, Vol.35, pp.1-14, 2005.
- [11] B. N. Potkin, A. L. Bartorelli, J. M. Gessert, R. F. Neville, Y. Almagor, W. C. Roberts, and M. B. Leon, "Coronary artery imaging with intravascular high-frequency ultrasound," Circulation, Vol.81, No.5, pp.1575-1585, 1990.
- [12] American Heart Association, Heart disease and stroke statistics -, 2005 update, American Heart Association, Dallas.
- [13] C. Gaudio, F. Mirabelli, L. Alessandra, B. L. Nguyen, S. Di Michele, F. Corsi, G. Tanzilli, M. Mancone, G. Pannarale, M. Francone, I. Carbone, C. Catalano, R. Passariello, and F. Fedele, "Noninvasive assessment of coronary artery stenoses by multidetector-row spiral computed tomography: comparison with conventional angiography," Eur Rev Med Pharmacol Sci, Vol.9, pp.13-21, 2005.
- [14] A. Nair, B. D. Kuban, E. M. Tuzcu, P. Schoenhagen, S. E. Nissen, and D. G. Vince, "Coronary plaque classification with intravascular ultrasound radiofrequency data analysis," Circulation, Vol.106, No.17, pp.2200-2206, 2002.
- [15] K. Fujii, Y. Kobayashi, G. S. Mintz, H. Takebayashi, G. Dangas, I. Moussa, R. Mehran, A. J. Lansky, E. Kreps, M. Collins, A. Colombo, G. W. Stone, M. B. Leon, and J. W. Moses, "Intravascular ultrasound assessment of ulcerated ruptured plaques: a comparison of culprit and nonculprit lesions of patients with

acute coronary syndromes and lesions in patients without acute coronary syndromes,” Circulation, Vol.108, No.20, pp.2473-2478, 2003.

[16] P. Libby, “Coronary artery injury and the biology of atherosclerosis: inflammation, thrombosis, and stabilization,” J. Am Cardiol, Vol.86, No.8, pp.3-8, 2000.

[17] P. D. Richardson, M. J. Davies, and G. V. Bom, “Influence of plaque configuration and stress distribution on fissuring of coronary atherosclerotic plaques,” Lancet, Vol.2, No.8669, pp.941-944, 1989.

[18] 장현철, “심장 CT 검사 시 ASIR 적용에 따른 선량 평가”, 한국콘텐츠학회논문지, 제11권, 제5호, pp.252-259, 2011.

최 남 길(Nam-Gil Choi)

정회원

- 1989년 8월 : 조선대학교 대학원 화공식품전공(공학석사)
 - 2009년 8월 : 동신대학교 대학원 방사선물리학과(이학박사)
 - 1980년 ~ 2010년 : 전남대학교 병원 영상의학과
 - 2011년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 방사선학과 교수
- <관심분야> : 보건통계, 방사선물리

저 자 소 개

최 재 성(Jae-Seong Choi)

정회원

- 2009년 2월 : 전남대학교 생물과학·생명기술학과(이학석사)
- 2009년 3월 ~ 2011년 2월 : 전남대학교 생물과학·생명기술학과 박사과정 수료
- 2004년 2월 ~ 현재 : 전남대학교병원 영상의학과

<관심분야> : 의료정보

한 재 복(Jae-Bok Han)

정회원

- 2001년 2월 : 호남대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2003년 2월 : 전남대학교 전자공학과(공학석사)
- 2007년 ~ 현재 : 전남대학교 전자공학과 박사과정

▪ 2009년 ~ 현재 : 동신대학교 방사선학과 교수

<관심분야> : 객체분할, 의료영상압축