



The Potential Role of Cardiac CT in Patients with Acute Coronary Syndrome

급성 관상동맥 증후군을 가진 환자에서 심장 CT의 역할

Sang Hyun Lee, MD¹ , Ki Seok Choo, MD^{2*} 

Departments of ¹Cardiology and ²Radiology, Research Institute for Convergence of Biomedical Science and Technology, Pusan National University Yangsan Hospital, Yangsan, Korea

Acute coronary syndrome involves three types of coronary artery disease associated with sudden rupture of coronary artery plaque, and has a clinical presentation ranging from ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI) to non-ST-segment elevation myocardial infarction (NSTEMI) or unstable angina. Cardiac CT can help quantify and characterize atherosclerotic plaques. According to a previous study, low-attenuation plaque, napkin ring sign, positive remodeling, spotty calcification, and increased perivascular fat attenuation are associated with plaque ruptures on cardiac CT. Therefore, coronary artery stenosis, as well as acute coronary artery syndrome, can be diagnosed using cardiac CT.

Index terms Acute Coronary Syndrome; Angina Pectoris; Tomography, X-Ray

서론

전통적으로 급성 관상동맥 증후군(acute coronary syndrome)은 관상동맥의 경화반파열(plaque disruption)에 의한 ST 분절 상승 심근경색증(ST-elevation MI), 비 ST 분절 상승 심근경색증(non-ST-elevation MI) 그리고 불안정 협심증(unstable angina)을 모두 아울러 지칭하는 진단명이다. 급성 관상동맥 증후군은 35세 이상 연령군의 3분의 1에서 사망원인이 되며 언제나 특징적인 급성흉통을 동반한다. 위험인자로는 가족력, 흡연, 고혈압, 당뇨, 고지혈증, 비만 등이 있다(1-3). 본 종설에서는 급성 관상동맥 증후군의 병리생태학적 기전과 이러한 급성 관상동맥 증후군을 시사하는 초음파, 관상동맥 혈관조영술 및 심장 CT의 소견과 정확도를 기술하고자 한다.

Received November 1, 2021
Revised December 16, 2021
Accepted December 27, 2021

*Corresponding author

Ki Seok Choo, MD
Department of Radiology,
Research Institute for
Convergence of Biomedical
Science and Technology,
Pusan National University
Yangsan Hospital,
20 Geumo-ro, Mulgeum-eup,
Yangsan 50612, Korea.

Tel 82-55-360-1840

Fax 82-55-360-1848

E-mail kschoo0618@naver.com


This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID iDs

Sang Hyun Lee 

[https://](https://orcid.org/0000-0001-7196-2643)

orcid.org/0000-0001-7196-2643

Ki Seok Choo 

[https://](https://orcid.org/0000-0001-5072-4259)

orcid.org/0000-0001-5072-4259

병태생리학적 관점에서의 급성 관상동맥 증후군

급성 관상동맥 증후군은 심전도 소견에 따라 ST 분절의 상승 유무로 ST 분절 상승 심근경색증과 비 ST 분절 상승 급성 관상동맥 증후군으로 나누고 다시 비 ST 분절 상승 급성 관상동맥 증후군은 심근표지자의 상승 유무에 따라서 상승하면 비 ST 분절 상승 심근경색증, 정상범위이면 불안정 협심증으로 나눈다. 최근에는 심근 세포 손상을 나타내는 심근표지자를 민감도와 특이도가 높은 고감도(high sensitivity) 트로포닌(troponin)-I 혹은 T를 사용하기 때문에 소량의 심근 세포 손상에도 비 ST 분절 상승 심근경색증으로 진단할 수 있다(4, 5). 다만, 심근표지자의 상승에 대하여 2018 년도에 개정된 심근경색의 4차 보편적 정의(fourth universal definition of myocardial infarction)에 따르면 급성 심근 경색과 급성(혹은 만성) 심근 손상을 구별하여 해석하도록 권고하고 있다(6). 급성 심근경색은 흉통과 같은 심근 허혈의 임상 증상 및 징후가 있고 시간에 따른 심근표지자의 변화가 뚜렷한 경우로 제한할 수 있겠다. 급성 심근 손상은 급성 심근경색과는 달리 비특이적인 흉통이나 호흡곤란 등의 임상 증상을 보이면서 시간에 따른 심근표지자의 변화가 관찰되는 경우로 급성 심부전 혹은 심근염 같은 질환을 예로 들 수 있다. 만성 심근 손상은 심근표지자가 상승되어 있으나 변화가 뚜렷하지 않은 경우로 판막질환 같은 구조적 심질환 혹은 만성 심부전 같은 질환을 예로 들 수 있다(6). 급성 심근경색은 세부적으로 다시 1형(type 1)과 2형(type 2)으로 나누어 볼 수 있다. 1형은 관상동맥이 죽상경화증과 혈전형성으로 폐색되어 발생하는 경우이며 2형은 관상동맥의 죽상경화증과 관계없이 심근의 산소 공급과 요구량의 불균형으로 발생하는 경우이다(Figs. 1, 2). 급성 관상동맥 증후군에서의 ST 분절 상승 심근경색증과 비 ST 분절 상승 심근경색증은 모두 1형 심근경색증에 속한다. 병태생리학적으로 과거에는 죽상경화반이 점진적으로 커지면서 협착이 진행하여 안정형 협심증이 불안정 협심증으로 이행하고 더 진행하면 관상동맥의 폐색으로 심근경색이 발생하는 것으로 생각하였으나 부검을 바탕으로 한 병리조직학적 연구(necropsy study)를 비롯한 여러 연구들을 통해 취약한 경화반(vulnerable plaque)에서 발생하는 미란(erosion)과 파열(disruption)에 의한 혈소판의 활성화 및 혈전형성으로 관상동맥이 폐색되어 급성 관상동맥 증후군을 일으키는 것으로 정립되었다(7, 8). 다만, 혈전형성과 관상동맥의 폐색의 정도에 따라서 심근 세포 손상이 없으면 불안정 협심증으로, 심근 세포 손상으로 심근표지자 상승 및 유의한 변화가 있으면 심전도 소견에 따라 비 ST 분절 상승 심근경색증과 ST 분절 상승 심근경색증으로 나눌 수 있다. 취약한 경화반은 지방이 풍부한 큰 중심부를 가지고 표면을 이루고 있는 섬유질 막(fibrous cap)이 얇고 대식세포(macrophage)의 침윤이 관찰되는 특징이 있으며 이러한 특징들로 인해 앞서 이야기한 대로 미란과 파열이 잘 발생할 수 있으며 이는 혈소판의 활성화 및 혈전형성으로 이어져 관상동맥 폐색을 일으키고 급성 관상동맥 증후군으로 나타난다.

급성 관상동맥 증후군에서 심장 초음파(Echocardiography)

심장 초음파 검사는 심장의 구조와 기능을 실시간으로 평가할 수 있는 비침습적 검사로서 급성 심근경색 환자에서 실시간으로 심실 벽의 국소벽운동장애(regional wall motion abnormality)

를 확인하여 해당 심실 부위에 혈류를 공급하는 혈관의 급성 폐색(심근경색을 일으킨 원인 병변 [culprit lesion])을 예상하고 심기능을 평가할 수 있다(9). 예를 들어 좌심실의 중벽과 전벽은 좌관상동맥의 좌전하행지에서 혈류 공급을 받는데 심장 초음파 검사상 좌심실의 중벽 혹은 전벽의 국소벽운동장애가 관찰된다면 좌관상동맥의 좌전하행지에 원인 병변이 있다는 것을 추측해 볼 수 있다. 심장 초음파상 국소벽운동장애가 심근허혈 이외의 원인(예, 심근염 또는 스트레스성 심근병증[stress induced cardiomyopathy])으로 발생할 수 있으며 이러한 경우는 각 관상동맥의 심근 혈류 공급 분포와 일치하지 않는 소견을 보여 감별진단에 도움이 된다. 한편 심장 초음파를 통하

Fig. 1. Myocardial infarction type I.

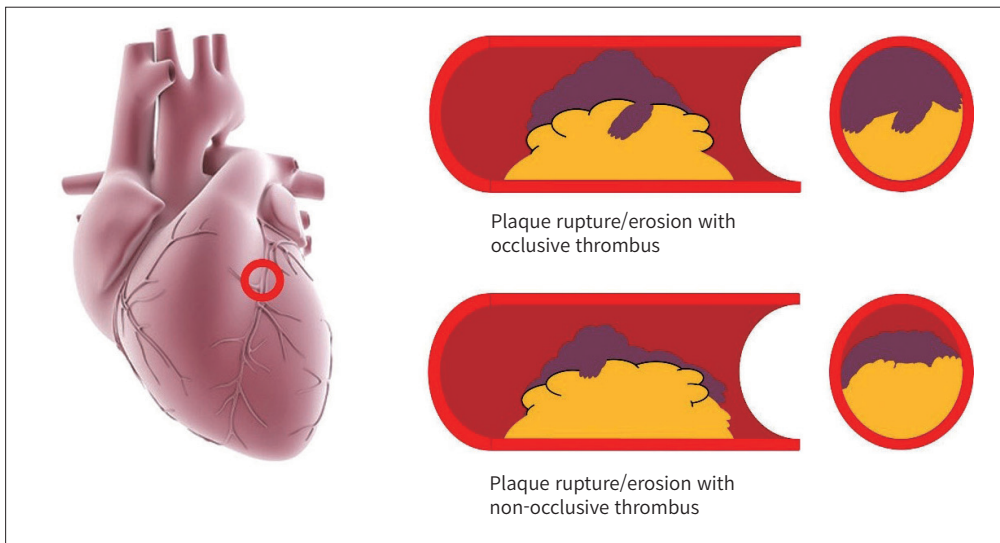
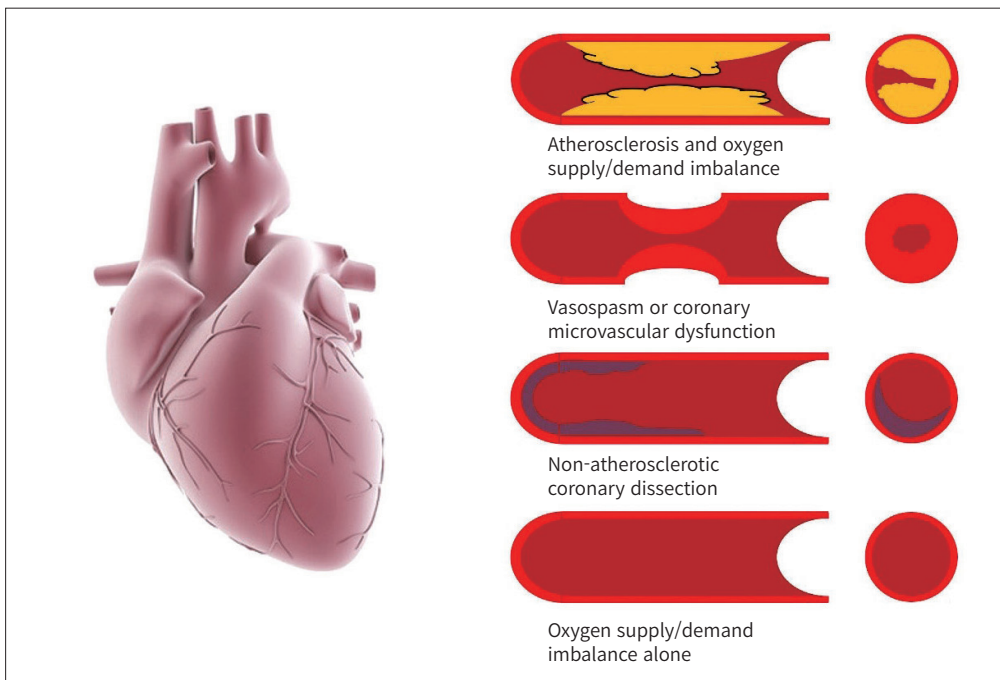


Fig. 2. Myocardial infarction type II.



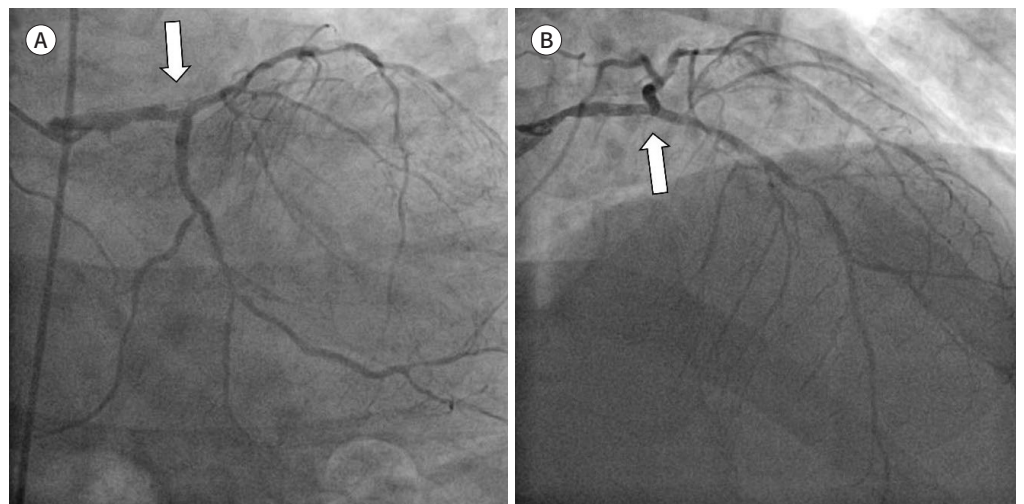
여 심근경색의 합병증으로 발생할 수 있는 승모판막 폐쇄부전증, 심실중격 파열, 심실 파열 및 가성 좌심실류, 좌심실류, 좌심실 내 혈전 그리고 심낭염 및 심낭삼출 등을 동시에 평가할 수 있다. 불안정 협심증의 경우는 흉통과 연관되어 심실 벽의 국소벽운동장애를 관찰할 수도 있다.

급성 관상동맥 증후군에서 관상동맥조영술(Coronary Angiography)과 혈관 내 초음파(Intravascular US)

관상동맥조영술은 급성 관상동맥 증후군에서 원인 병변을 판단하는 데 필수적인 침습적 검사이다. 일반적으로 대퇴동맥 혹은 요골동맥 등을 사용하여 도관(catheter)을 관상동맥 입구에 위치시키고 조영제를 주입하여 관상동맥의 내강을 이차원적으로 조영하여 촬영하는 루미노그램(luminogram)이다. 따라서 3차원의 관상동맥의 협착을 정확히 평가하기 위해서는 여러 각도에서 잘 조영된 혈관 영상을 얻어서 평가하는 것이 중요하다(Fig. 3). 현재까지 관상동맥조영술은 관상동맥의 형태 및 협착을 평가하는 데 가장 정확한 검사법으로 알려져 있으며 급성 관상동맥 증후군과 같은 상황에서 진단 후 바로 경피적 관상동맥중재술(percutaneous coronary intervention)을 시행할 수 있는 장점이 있다. 반면에 침습적인 검사와 관련된 합병증으로 관상동맥 경련, 색전증, 관상동맥 박리 및 도관 삽입 부위 출혈이나 동정맥류 등이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 최근 가이드라인에 따르면 여전히 ST 분절 상승 심근경색증의 경우에는 가능한 빨리 관상동맥조영술을 시행하여 원인 병변을 찾아 경피적 관상동맥중재술을 시행하는 것을 원칙으로 하고 있지만, 고위험 환자군이 아닌 비 ST 분절 상승 심근경색증의 경우 트로포닌 검사와 심전도가 정상이거나 의미 있는 변화가 없다면 먼저 심장 CT (cardiac CT)를 검사해서 병변이 있는 것을 확인하고 경피적 관상동맥중재술을 시행하는 것을 권고하고 있다. 이는 여러 연구들에서 비 ST 분절 상승 심근경색증에서 통상적인 침습 치료 전략이 선택적 침습 치료 전략에 비하여 고위험 환자군을 제외하고는 더

Fig. 3. Coronary angiography of a patient with unstable angina pectoris.

A, B. Caudal (A) and cranial (B) views of the left coronary artery show the eccentric luminal narrowing of the distal left main coronary artery (arrows).



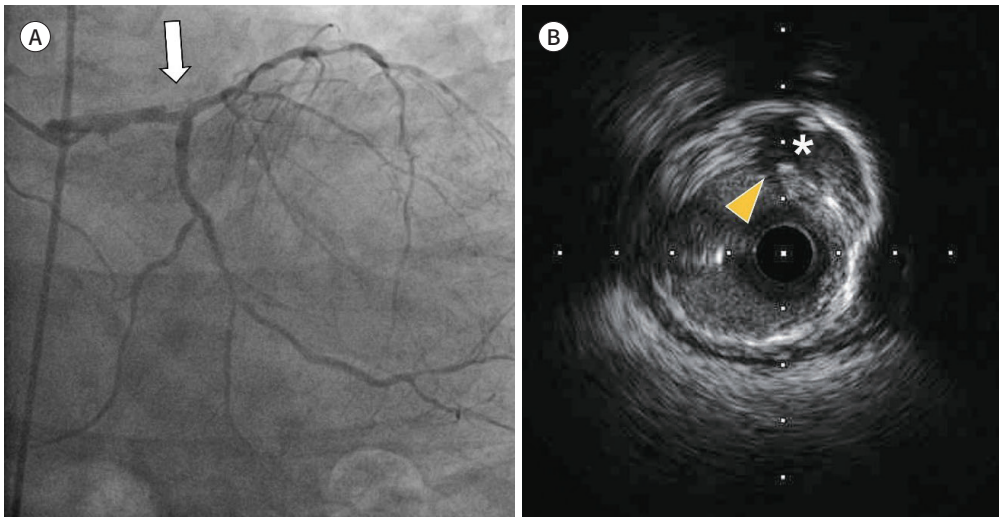
나은 결과를 보이지 못했기 때문이다(10). 한편, 관상동맥조영술이 루미노그램으로서의 단점을 보완하고 관상동맥의 상태를 보다 잘 이해하는 데 혈관 내 초음파가 도움이 된다. 주로 경피적 관상동맥중재술시 병변혈관의 크기, 석회화 유무, 죽상경화반의 구성이나 크기, 길이 등을 평가하기 위하여 이용되며 급성 관상동맥 증후군에서 보이는 취약한 경화반 파열 또는 박리 소견을 관찰할 수도 있다(Fig. 4) (11).

급성흉통이 있는 환자군에서의 심장 CT의 역할

최근 수십 년 동안 기술력의 발달로 CT의 시간해상력과 공간해상력이 크게 향상되어(< 60 ms, > 0.25 mm), 심장 CT는 심장 초음파검사나 핵의학과 검사와 다르게 비침습적으로 관상동맥을 직접 영상화할 수 있게 되었다. 심장 CT는 관상동맥의 협착 여부를 확인하는 데 유용하며 특히 민감도와 음성 예측도가 매우 높다. 또한 협착이 심하거나 혈관이 100% 협착일 경우 관상동맥조영술로 협착 부위를 치료하는 안내자 역할도 할 수 있게 되었다(12).

급성흉통 환자를 진단 치료하는 입장에서 심장 CT는 두 가지 특징을 가지고 있는데 하나는 넓은 가용성으로 인해 대형병원뿐만 아니라 1, 2차 의료기관의 응급실에서도 급성흉통이 있는 환자의 즉각적 검사 시행이 가능하다는 것이고 두 번째는 짧은 촬영시간으로 심장에 관련된 질환의 진단뿐만 아니라 대동맥 박리, 폐동맥 혈전증 같은 심장 외 장기에서 생길 수 있는 응급질환 등을 동시에 진단 가능하다는 것이다(13). Hoffmann 등(14, 15)에 의한 연구에 의하면, 응급실을 방문한 급성흉통을 가진 환자의 관상동맥 질환 유무 판정과 중증도 분류에 있어서 심장 CT가 유용하다고 보고하고 있으며, 심장 CT의 비 ST 분절 상승 심근경색 타입의 급성관상동맥 증후군의 정확도(50% 이상 협착)는 예민도 96.5%, 특이도 72.4%, 음성 예측도 90.9%, 양성 예측도 87.9%이다

Fig. 4. Coronary angiography of a patient with unstable angina pectoris (A) and intravascular US finding (B).
A. Coronary angiography shows the eccentric luminal narrowing of the distal left main coronary artery (arrow).
B. Intravascular US shows the plaque rupture site with residual fibrous cap (arrowhead) and the remnant lipid core (asterisk).



(Fig. 5) (16). 현재의 심장 CT는 관상동맥조영술처럼 관상동맥 내강을 보여줄 뿐만 아니라, 혈관벽을 영상화할 수 있어서 혈관벽의 동맥경화를 보여줄 수도 있다. 이러한 장점으로 인해 심장 CT는 환자의 위험 계층화(risk stratification)를 할 수 있게 되었다(17). 부검을 바탕으로 한 병리조직학적 연구에 따르면 급성 관상동맥 증후군이 발생하는 데는 경화반의 형태가 중요한 역할을 한다. 또한 50% 이상의 직경 협착보다 작은 병변 부위에서도 경화반 파열이 일어나 급성 관상동맥이 발생할 수 있으므로, 경화반 형태 평가는 협착 평가만큼이나 중요하다(18, 19). 심장 CT는 체적 이미지 기능(volumetric image capability)이 가능해서 죽상동맥경화성 경화반을 잘 묘사할 수 있으므로 죽상동맥경화성 경화반을 가진 환자 위험성 평가는 심장 CT의 독특한 능력이다. 뿐만 아니라 관상동맥의 총 경화반 부담(total plaque burden) 역시 총 원인 사망률(all-cause mortality)에 영향을 끼치므로 경화반의 양적인 평가와 질적인 평가 모두 중요하다(17).

현재까지는 저 또는 중등도의 급성 관상동맥 증후군이 의심되는 환자에서 심장 CT가 적응증이 되며, 혈역학적 불안정성, 신부전, 알려진 관상동맥 질환, 임신, 부정맥에서 발생할 수 있는 심박수 조절 불능, 조영제에 대한 알레르기 반응의 병력이 있을 때는 심장 CT의 금기증이 된다(20).

급성 관상동맥 증후군을 일으킬 수 있는 심장 CT 소견

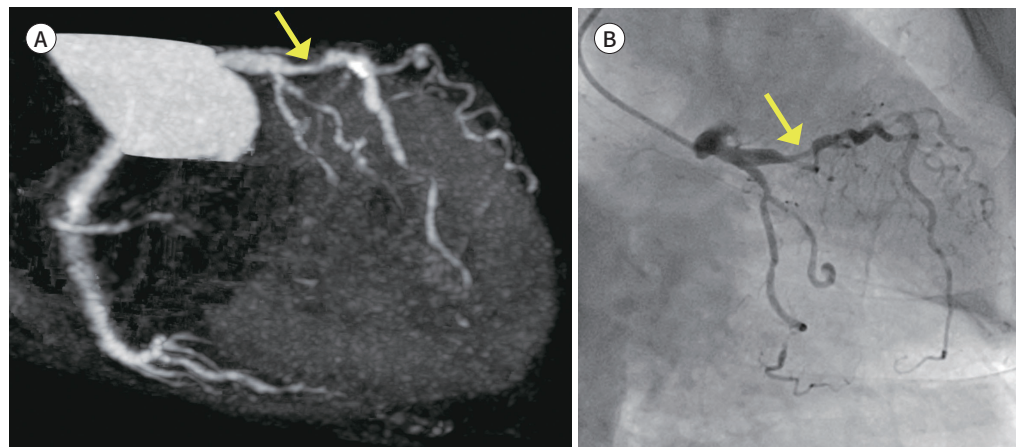
심장 CT는 관상동맥의 경화반을 석회화 혹은 비석회화된 경화반으로 분류할 수 있다. 또한 경화반의 낮은 감쇠(low attenuation), 혈관의 양성 재형성(positive remodeling), 높은 총 경화반 부담 및 점상 석회화(spotty calcification)와 같은 경화반의 불안정성과 관련된 특징을 감지할 수 있으며, 이것은 혈관 내 이미지 및 조직학과 높은 상관관계가 있다(21).

현재까지의 연구에 의하면, 심장 CT에서 불안정성 경화반의 특징을 보이면 관상동맥조영술에

Fig. 5. A representative case showing the usefulness of cardiac CT for a patient with non-ST segment elevation acute coronary syndrome.

A. Cardiac CT of a 41-year-old male with acute chest pain shows moderate stenosis in the mid LAD (arrow).
B. Coronary angiography after 1 day reveals severe stenosis of the proximal LAD (arrow corresponds to cardiac CT).

LAD = left anterior descending artery



서의 혈관협착도나 임상적 위험도와는 상관없이 급성 관상동맥 증후군을 일으킬 수 있다고 한다(22, 23). 이와 같은 심장 CT의 불안정성 경화반에 대한 연구의 결과로 Coronary Artery Disease Reporting & Data System (CAD-RADS™)에서는 낮은 감쇠를 가진 경화반, 냅킨 반지 표시(Napkin ring sign) 양성 재형성, 점상 석회화중 적어도 2개 이상의 특징적 소견이 있다면 불안정성이 있다고 표기하라고 권고하고 있다(24).

낮은 감쇠 계수를 가진 경화반(Low Attenuation Plaque)

심장 CT를 통해서 조직학적으로 불안정성 경화반의 특징인 경화반의 섬유성 모자(fibrous cap)나 경화반 내 출혈 유무(intraplaque hemorrhage)는 공간 해상력의 부족으로 확인하기 어려우나 경화반 내에 보다 낮은 감쇠 계수(Hounsfield unit; 이하 HU)를 가지는 경화반을 육안적으로 확인할 수 있으며 관심 영역(region of interest)을 측정하여 마이너스(minus) 값을 보인다면 지방성분이 높은 경화반, 즉 불안정성 경화반으로 판단할 수 있다(25-29). 하지만 안정성 경화반과 불안정성 경화반을 나누는 감쇠 계수의 절댓값은 여러 연구에서 다른 결과를 보여주고 있는데, 이것은 안정성 경화반과 불안정성 경화반의 평균감쇠계수가 중복되는 구간을 가지고 있기 때문이다(25, 29). 이러한 한계를 극복하기 위해 30 HU를 판별의 기준점(cut off value)으로 하여 경화반의 전체 평균이 30 HU 미만이거나 경화반의 심장 CT 단면 영상(cross-sectional image)에서 30 HU 이하 부분이 전체의 5.5% 이상이면 불안정성 경화반이라는 연구 결과(민감도 95%, 특이도 80%)들이 보고되었다(22, 30). 그럼에도 불구하고 경화반의 감쇠 계수를 측정해서 불안정성 경화반을 진단하는 것이 한계점을 가지는 것은 절편의 두께, 검사 프로토콜, 방사선 조사 전압, 혈관 내 조영 정도, 재건 알고리즘, 필터와 잡음 등 CT 촬영에서 피사체의 감쇠에 영향을 끼치는 모든 것에서 사람마다 차이가 나기 때문이다(17).

냅킨 반지 표시(Napkin Ring Sign)

불안정성 경화반은 비석회화 경화반중 균질성(homogeneous) 경화반보다 비균질성(heterogeneous) 경화반에서 더 많이 생기는데 대표적인 것이 냅킨 반지 표시(napkin ring sign)를 가진 경화반이다. 냅킨 반지 표시는 안쪽의 낮은 감쇠 물질과 바깥쪽의 상대적으로 높은 감쇠 물질(석회화와 감별하기 위해 130 HU 이하로 국한)로 정의한다(Fig. 6). 냅킨 반지 표시의 병리학적 의미는 여전히 불분명하지만 여러 가설로 설명되고 있다. 첫 번째 가설은 안쪽에 지질 풍부(lipid-rich) 경화반 및 바깥쪽의 섬유성 경화반이다. 두 번째 가설은 바깥쪽의 높은 음영이 자양맥관(vaso vasorum)에 의한 조영증강으로 활동성 염증을 의미한다. 세 번째 가설은 안쪽에는 혈전 또는 출혈, 바깥쪽에는 조영증강이다. 네 번째 가설은 바깥쪽의 고음영은 미세석회화(micro-calcification)를 의미한다(31, 32). 냅킨 반지 표시는 높은 특이도와 양성 예측도(93%, 88%)를 보인다. 하지만 공간해상력의 한계로 작은 지질 코어(core)를 확인할 수 없어 불안정성 경화반을 진단하는 민감도는 떨어진다(43.7%) (33).

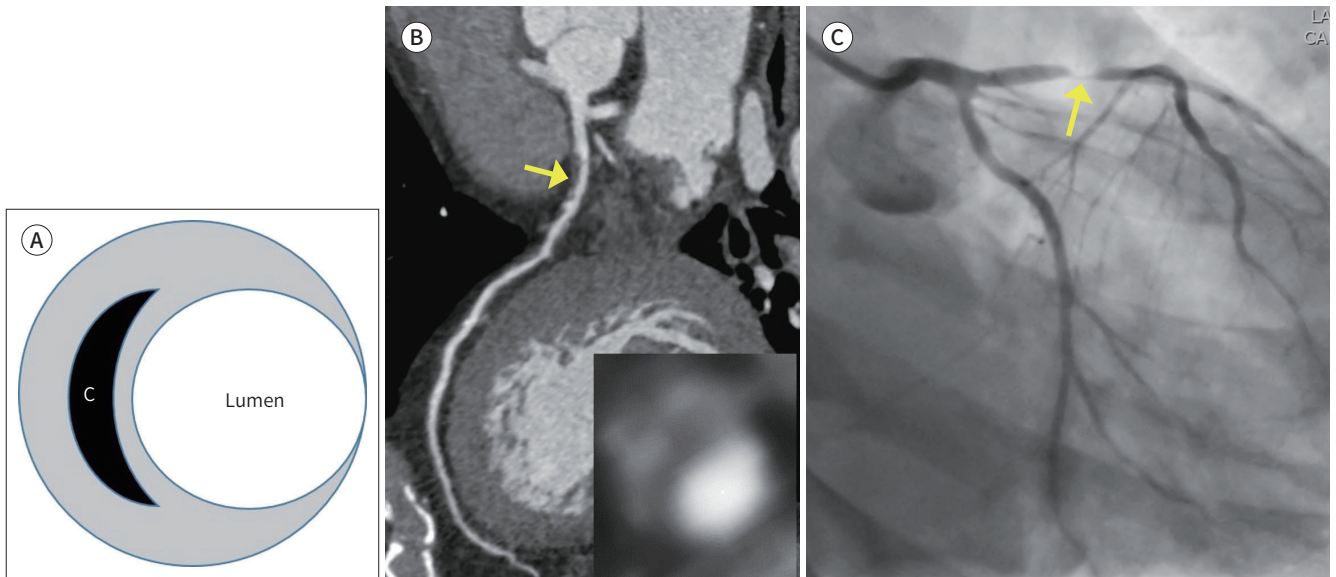
Fig. 6. A 75-year-old male with atypical chest pain and the napkin ring sign.

A. A schematic diagram of a napkin ring sign shows a central lipid-rich portion and a peripheral fibrous portion.

B. An multiplanar reconstruction image of the LAD on cardiac CT shows moderate stenosis (arrow). A cross-sectional image of the LAD on cardiac CT presents a central low-density plaque (corresponding to the schematic) surrounded by a relatively high-density plaque.

C. After 6 months, the patient complained of acute chest pain, and coronary angiography shows severe stenosis of the proximal LAD (arrow corresponds to cardiac CT).

C = central plaque, LAD = left anterior descending artery



양성 재형성(Positive Remodeling)

죽상동맥 경화반은 처음에는 혈관내경을 줄이지 않으면서 바깥쪽으로 성장하는데 이때 경화반 내에 지방이 축적되고 불안정성 경화반이 될 수 있다. 심장 CT에서 관상동맥 양성재형성의 의미는 연구마다 다르나 대부분 간편하게 혈관 협착 부위와 정상 부위 단면 직경의 비로 정의하며(Fig. 7) 판별의 기준점 또한 1.05에서 1.1까지 다양하다(34). 1.05를 판별의 기준점으로 했을 때 불안정성 경화반의 진단율은 민감도 45%, 특이도 100%, 1.1을 기준으로 했을 때의 민감도는 78%, 특이도는 78%이다(17). 하지만, 저선량 심장 CT 등으로 촬영했을 때 경화반이 있는 혈관의 바깥쪽 라인을 정확하게 구분할 수 없어 때때로 진단하기 어려운 경우도 있다(35).

점상 석회화(Spotty Calcification)

경화반 내 미세석회화는 경화반을 불안정하게 하고 경화반 파열을 촉진시킨다고 알려져 있다(36). 심장 CT에서 점상 석회화의 정의는 3 mm 이하의 길이면서 혈관 내 90도 이하에서 자리 잡고 있는 것이다(Fig. 8). 몇몇 연구에서 CT 내 점상 석회화가 불안정성 경화반의 표식이 될 수 있다는 보고를 하고 있으나, 현재 CT의 공간해상력이 제한적이고 혈관 내 조영제에 의해서도 점상 석회화가 숨겨질 수 있으므로 아직까지 임상적으로 유용하다고는 볼 수 없다(37).

혈관 주변 지방 감쇠의 증가(Increased Perivascular Fat Attenuation)

혈관 염증은 죽상동맥 경화반의 형성과 파열을 촉진하여 임상적으로 급성 관상동맥 증후군을

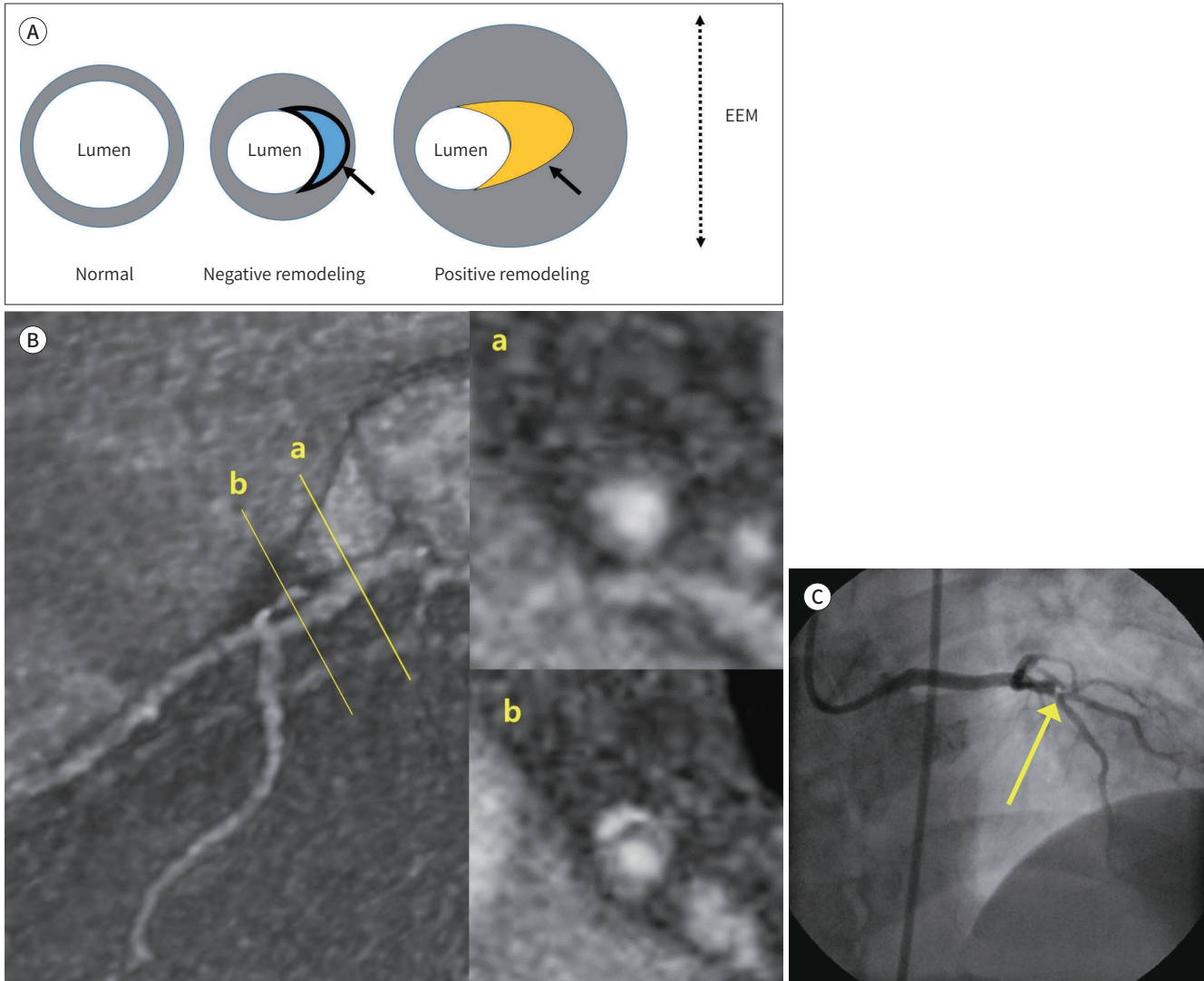
Fig. 7. A 66-year-old male with atypical chest pain and positive remodeling of coronary arteris.

A. A schematic diagram of positive remodeling of coronary arteries is shown; the EEM is greater for positive remodeling than that for normal coronary or negative remodeling.

B. The volume rendering image of the LAD on cardiac CT shows moderate stenosis with a positive remodeling, corresponding to the cross-sectional image of the LAD on cardiac CT (a: normal segment, b: stenotic segment with positive remodeling).

C. After 2 months, the patient complained of acute chest pain, and coronary angiography shows severe stenosis of the proximal LAD (arrow corresponds to cardiac CT).

EEM = external elastic membrane, LAD = left anterior descending artery



일으키는 중요한 요인이다(38). 관상동맥의 염증을 직접적으로 관찰할 수 있다면 이후에 생길 수 있는 죽상동맥 경화반 형성이나 파열을 막을 수 있겠지만 현재 개발된 영상기기로는 불가능하다. 하지만, 염증이 있는 관상동맥에서 관상동맥 주변의 지방조직의 생성을 방해한다는 가설로 관상동맥 주변 지방을 측정하여 죽상동맥 경화반 형성을 정도를 간접적으로 측정해 볼 수 있다. 관상동맥에 염증이 있다면 이것은 염증 동맥 주위의 지방의 조성을 변화시켜 심장 CT에서 지방의 감쇠가 더 증가하게 된다(-190 HU 근처에서 -30 HU 근처로 이동) (Fig. 9) (39). 혈관 주변 지방 감쇠의 변화 측정은 관상동맥염증의 정량적 측정을 대신하여 심장질환 예측과 위험도 계층화를 할 수

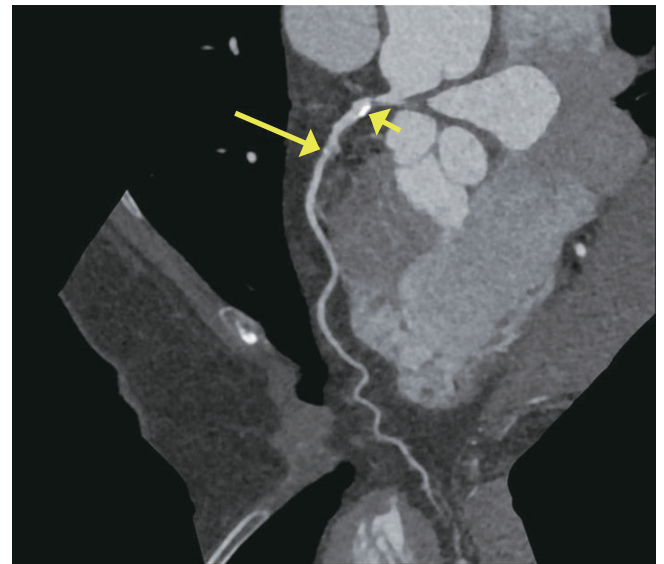
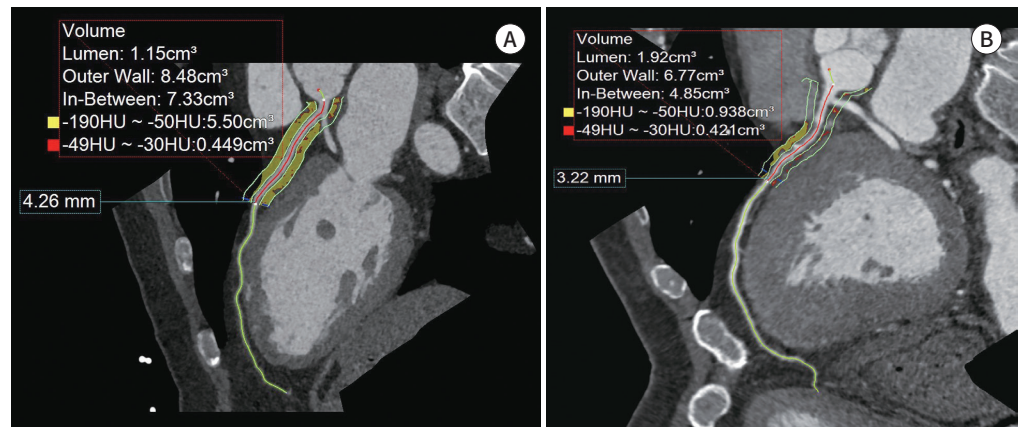


Fig. 8. Spotty calcification (arrow) and macro-calcification (arrowhead) are shown.

Fig. 9. Perivascular fat attenuation.

- A. Areas with high perivascular fat attenuation (red color) occupy less than 10% of the measured perivascular area.
- B. Areas with high perivascular fat attenuation (red color) occupy more than 30% of the measured perivascular area.

HU = Hounsfield unit



있는 방법이 될 수 있는데 한 연구에 따르면 70.1 HU가 기준점이다(40). 혈관 주변 지방 감소 측정의 장점은 관상동맥의 협착 정도와 관계가 없고, 관상동맥의 석회화에 의해 영향을 받지 않는다(41). 따라서 앞으로 인공지능을 이용한 분석 등 좀 더 다양한 연구가 나올 것으로 기대된다.

급성 관상동맥 증후군에서 생길 수 있는 심근의 이상 소견 및 합병증

급성 관상동맥 증후군이 의심되지만 여러 가지 허상(artifact)으로 인해 심장 CT에서 관상동맥을 관찰하기 어려울 경우에는 벽 운동이상(wall motion abnormality) 또는 좌심실에 특정 관상동맥이 지배하는 부위의 조영증강이 정상에 비해 1/2이상로 떨어지는 것으로 급성 관상동맥 증후군을 진단할 수 있다(42). 또한, 급성 관상동맥 증후군으로 인한 합병증은 폐 부종, 급성 승모판 역

류, 심실중격 결손 및 자유벽 파열 등이 있다(43).

앞으로의 전망

기술력의 발달로 여러 가지 새로운 타입의 CT가 개발 또는 개선되어 급성 관상동맥 증후군을 일으킬 수 있는 경화반 또는 혈관 주변 지방 감쇠측정을 좀 더 정확하게 진단할 수 있을 것으로 예상된다. 첫 번째로 듀얼 에너지(dual energy)를 이용한 스펙트럴(spectral) CT는 신호 대 잡음 비(signal to noise ratio) 개선, CT의 허상(artifact) 개선 등으로 경화반 분석에 도움이 될 수 있다. 두 번째는 기존의 CT보다 획기적인 공간해상력의 가진 포토 카운팅 디텍터(photo counting detector) CT의 개발이며, 마지막으로 라디오 믹스(radiomics)의 활용, 인공지능을 이용한 분석 등이 심장 CT에 적용되어 불안정성 경화반 또는 불안정성경화반을 만들 수 있는 환경을 진단할 수 있을 전망이다.

결론

심장 CT로 급성 관상동맥 증후군 환자를 진단할 때 앞에서 기술한 심장 CT에서의 여러 특징적 소견을 잘 이해하면 특히 높은 음성 예측도를 기대해 볼 수 있다. 따라서 급성 관상동맥 증후군에서의 심장 CT 소견을 잘 숙지하고 판독하는데 적용한다면 급성 관상동맥 증후군에 의한 환자의 사망률 등 여러 임상지표 등의 개선을 기대해 볼 수 있다.

Author Contributions

Conceptualization, C.K.S.; data curation, all authors; investigation, all authors; methodology, C.K.S.; project administration, C.K.S.; resources, all authors; supervision, C.K.S.; visualization, all authors; writing—original draft, all authors; and writing—review & editing, all authors.

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

Funding

None

Acknowledgments

This study was supported by a 2020 research grant from Pusan National University Yangsan Hospital.

REFERENCES

1. Zègre-Hemsey JK, Asafu-Adjei J, Fernandez A, Brice J. Characteristics of prehospital electrocardiogram use in north carolina using a novel linkage of emergency medical services and emergency department data. *Prehosp Emerg Care* 2019;23:772-779
2. Alomari M, Bratton H, Musmar A, Al Momani LA, Young M. Ticagrelor-induced diarrhea in a patient with acute coronary syndrome requiring percutaneous coronary artery intervention. *Cureus* 2019;11:e3874
3. Kerneis M, Nafee T, Yee MK, Kazmi HA, Datta S, Zeitouni M, et al. Most promising therapies in interventional cardiology. *Curr Cardiol Rep* 2019;21:26
4. Roffi M, Patrono C, Collet JP, Mueller C, Valgimigli M, Andreotti F, et al. 2015 ESC Guidelines for the manage-

- ment of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: task force for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2016;37:267-315
5. Ibanez B, James S, Agewall S, Antunes MJ, Bucciarelli-Ducci C, Bueno H, et al. 2017 ESC guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: the task force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2018;39:119-177
 6. Thygesen K, Alpert JS, Jaffe AS, Chaitman BR, Bax JJ, Morrow DA, et al. Fourth universal definition of myocardial infarction (2018). *J Am Coll Cardiol* 2018;72:2231-2264
 7. Fuster V, Badimon L, Badimon JJ, Chesebro JH. The pathogenesis of coronary artery disease and the acute coronary syndromes (1). *N Engl J Med* 1992;326:242-250
 8. Fuster V, Badimon L, Badimon JJ, Chesebro JH. The pathogenesis of coronary artery disease and the acute coronary syndromes (2). *N Engl J Med* 1992;326:310-318
 9. Sabia P, Afrookteh A, Touchstone DA, Keller MW, Esquivel L, Kaul S. Value of regional wall motion abnormality in the emergency room diagnosis of acute myocardial infarction. A prospective study using two-dimensional echocardiography. *Circulation* 1991;84:185-192
 10. Collet JP, Thiele H, Barbato E, Barthélémy O, Bauersachs J, Bhatt DL, et al. 2020 ESC guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *Eur Heart J* 2021;42:1289-1367
 11. Hur SH. Lesion characteristics in patients with acute coronary syndrome: a comparison with lesion in patients with stable angina by intravascular ultrasound. *Korean Circulation J* 2004;34:548-557
 12. Choe YH. Noninvasive detection of coronary atherosclerotic plaques and assessment of stenosis degree at multidetector CT coronary angiography. *J Korean Med Assoc* 2007;50:109-119
 13. André F, Buss SJ, Friedrich MG. The role of MRI and CT for diagnosis and work-up in suspected ACS. *Diagnosis (Berl)* 2016;3:143-154
 14. Hoffmann U, Bamberg F, Chae CU, Nichols JH, Rogers IS, Seneviratne SK, et al. Coronary computed tomography angiography for early triage of patients with acute chest pain: the ROMICAT (rule out myocardial infarction using computer assisted tomography) trial. *J Am Coll Cardiol* 2009;53:1642-1650
 15. Hoffmann U, Truong QA, Fleg JL, Goehler A, Gazelle S, Wiviott S, et al. Design of the rule out myocardial ischemia/infarction using computer assisted tomography: a multicenter randomized comparative effectiveness trial of cardiac computed tomography versus alternative triage strategies in patients with acute chest pain in the emergency department. *Am Heart J* 2012;163:330-338
 16. Linde JJ, Kelbæk H, Hansen TF, Sigvardsen PE, Torp-Pedersen C, Bech J, et al. Coronary CT angiography in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome. *J Am Coll Cardiol* 2020;75:453-463
 17. Kolossváry M, Szilveszter B, Merkely B, Maurovich-Horvat P. Plaque imaging with CT-a comprehensive review on coronary CT angiography based risk assessment. *Cardiovasc Diagn Ther* 2017;7:489-506
 18. Bittencourt MS, Hultén E, Ghoshhajra B, O'Leary D, Christman MP, Montana P, et al. Prognostic value of non-obstructive and obstructive coronary artery disease detected by coronary computed tomography angiography to identify cardiovascular events. *Circ Cardiovasc Imaging* 2014;7:282-291
 19. Hadamitzky M, Achenbach S, Al-Mallah M, Berman D, Budoff M, Cademartiri F, et al. Optimized prognostic score for coronary computed tomographic angiography: results from the CONFIRM registry (COronary CT Angiography Evaluation For Clinical Outcomes: an International Multicenter Registry). *J Am Coll Cardiol* 2013;62:468-476
 20. Son MJ, Yoo SM, Lee D, Lee HY, Song IS, Chun EJ, et al. Current role of computed tomography in the evaluation of acute coronary syndrome. *Diagnostics (Basel)* 2021;11:266
 21. Achenbach S, Ropers D, Hoffmann U, MacNeill B, Baum U, Pohle K, et al. Assessment of coronary remodeling in stenotic and nonstenotic coronary atherosclerotic lesions by multidetector spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:842-847
 22. Motoyama S, Kondo T, Sarai M, Sugiura A, Harigaya H, Sato T, et al. Multislice computed tomographic characteristics of coronary lesions in acute coronary syndromes. *J Am Coll Cardiol* 2007;50:319-326
 23. Puchner SB, Liu T, Mayrhofer T, Truong QA, Lee H, Fleg JL, et al. High-risk plaque detected on coronary CT angiography predicts acute coronary syndromes independent of significant stenosis in acute chest pain: results from the ROMICAT-II trial. *J Am Coll Cardiol* 2014;64:684-692

24. Cury RC, Abbara S, Achenbach S, Agatston A, Berman DS, Budoff MJ, et al. Coronary artery disease - reporting and data system (CAD-RADS): an expert consensus document of SCCT, ACR and NASCI: endorsed by the ACC. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016;9:1099-1113
25. Pohle K, Achenbach S, Macneill B, Ropers D, Ferencik M, Moselewski F, et al. Characterization of non-calcified coronary atherosclerotic plaque by multi-detector row CT: comparison to IVUS. *Atherosclerosis* 2007;190:174-180
26. Voros S, Rinehart S, Qian Z, Vazquez G, Anderson H, Murrieta L, et al. Prospective validation of standardized, 3-dimensional, quantitative coronary computed tomographic plaque measurements using radiofrequency backscatter intravascular ultrasound as reference standard in intermediate coronary arterial lesions: results from the ATLANTA (assessment of tissue characteristics, lesion morphology, and hemodynamics by angiography with fractional flow reserve, intravascular ultrasound and virtual histology, and noninvasive computed tomography in atherosclerotic plaques) I study. *JACC Cardiovasc Interv* 2011;4:198-208
27. Leber AW, Becker A, Knez A, von Ziegler F, Sirol M, Nikolaou K, et al. Accuracy of 64-slice computed tomography to classify and quantify plaque volumes in the proximal coronary system: a comparative study using intravascular ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:672-677
28. Sun J, Zhang Z, Lu B, Yu W, Yang Y, Zhou Y, et al. Identification and quantification of coronary atherosclerotic plaques: a comparison of 64-MDCT and intravascular ultrasound. *AJR Am J Roentgenol* 2008;190:748-754
29. Yang X, Gai L, Dong W, Liu H, Sun Z, Tian F, et al. Characterization of culprit lesions in acute coronary syndromes compared with stable angina pectoris by dual-source computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2013;29:945-953
30. Marwan M, Taher MA, El Meniawy K, Awadallah H, Pflederer T, Schuhbäck A, et al. In vivo CT detection of lipid-rich coronary artery atherosclerotic plaques using quantitative histogram analysis: a head to head comparison with IVUS. *Atherosclerosis* 2011;215:110-115
31. Kashiwagi M, Tanaka A, Kitabata H, Tsujioka H, Kataiwa H, Komukai K, et al. Feasibility of noninvasive assessment of thin-cap fibroatheroma by multidetector computed tomography. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2:1412-1419
32. Maurovich-Horvat P, Hoffmann U, Vorpahl M, Nakano M, Virmani R, Alkadhi H. The napkin-ring sign: CT signature of high-risk coronary plaques? *JACC Cardiovasc Imaging* 2010;3:440-444
33. Nishio M, Ueda Y, Matsuo K, Asai M, Nemoto T, Hirata A, et al. Detection of disrupted plaques by coronary CT: comparison with angiography. *Heart* 2011;97:1397-1402
34. Gauss S, Achenbach S, Pflederer T, Schuhbäck A, Daniel WG, Marwan M. Assessment of coronary artery remodelling by dual-source CT: a head-to-head comparison with intravascular ultrasound. *Heart* 2011;97:991-997
35. Yoo SM, Lee HY, Jin KN, Chun EJ, Ann FA, White CS. Current concepts of vulnerable plaque on coronary CT angiography. *Cardiovasc Imaging Asia* 2017;1:4-12
36. Maldonado N, Kelly-Arnold A, Vengrenyuk Y, Laudier D, Fallon JT, Virmani R, et al. A mechanistic analysis of the role of microcalcifications in atherosclerotic plaque stability: potential implications for plaque rupture. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2012;303:H619-H628
37. Ito T, Terashima M, Kaneda H, Nasu K, Matsuo H, Ehara M, et al. Comparison of in vivo assessment of vulnerable plaque by 64-slice multislice computed tomography versus optical coherence tomography. *Am J Cardiol* 2011;107:1270-1277
38. Ridker PM, Everett BM, Thuren T, MacFadyen JG, Chang WH, Ballantyne C, et al. Antiinflammatory therapy with canakinumab for atherosclerotic disease. *N Engl J Med* 2017;377:1119-1131
39. Antonopoulos AS, Sanna F, Sabharwal N, Thomas S, Oikonomou EK, Herdman L, et al. Detecting human coronary inflammation by imaging perivascular fat. *Sci Transl Med* 2017;12;9:eaal2658
40. Oikonomou EK, Marwan M, Desai MY, Mancio J, Alashi A, Hutt Centeno E, et al. Non-invasive detection of coronary inflammation using computed tomography and prediction of residual cardiovascular risk (the CRISP CT study): a post-hoc analysis of prospective outcome data. *Lancet* 2018;392:929-939
41. Klüner LV, Oikonomou EK, Antoniades C. Assessing cardiovascular risk by using the fat attenuation index in coronary CT angiography. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2021;3:e200563
42. Seneviratne SK, Truong QA, Bamberg F, Rogers IS, Shapiro MD, Schlett CL, et al. Incremental diagnostic value of regional left ventricular function over coronary assessment by cardiac computed tomography for the detection of acute coronary syndrome in patients with acute chest pain: from the ROMICAT trial. *Circ Car*

diiovasc Imaging 2010;3:375-383

43. Figueras J, Cortadellas J, Soler-Soler J. Left ventricular free wall rupture: clinical presentation and management. *Heart* 2000;83:499-504

급성 관상동맥 증후군을 가진 환자에서 심장 CT의 역할

이상현¹ · 추기석^{2*}

급성 관상동맥 증후군은 관상동맥 경화반의 갑작스러운 파열과 관련된 3가지 유형의 관상동맥 질환을 의미하며 임상적으로는 ST 분절 상승 심근경색에서 비 ST 분절 상승 심근경색 또는 불안정성 협심증 등으로 표현된다. 심장 CT의 기술 발전을 통해 심장 CT는 관상동맥 내 죽상동맥경화반의 정량화 및 특성을 평가할 수 있게 되었으며, 현재까지 낮은 감쇠의 경화반, 납킨 반지 표시, 양성 리모델링, 점상 석회화 및 증가된 혈관 주변 지방 감쇠가 심장 CT에서 경화반 파열을 의미하는 것으로 알려져 있다. 따라서 심장 CT는 관상동맥의 혈관협착 정도를 진단하는 것을 넘어 급성 관상동맥 증후군을 진단하는데도 많은 기여를 하고 있다.

부산대학교 의과대학 양산부산대학교병원 ¹심장내과, ²영상의학과