



CT and MR Imaging Findings of Structural Heart Diseases Associated with Sudden Cardiac Death

급성 심장사와 관련된 구조적 심질환의 전산화단층촬영과 자기공명영상 소견

Jong Sun Lee, MD , Sung Min Ko, MD* , Hee Jung Moon, MD ,
Jhi Hyun Ahn, MD , Hyun Jung Kim, MD , Seung Whan Cha, MD

Departments of Radiology, Wonju Severance Christian Hospital,
Yonsei University Wonju College of Medicine, Wonju, Korea

Sudden cardiac death is an unexpected death originating from the heart that occurs within an hour of the onset of symptoms. The main cause of sudden cardiac death is arrhythmia; however, diagnosing underlying structural heart disease significantly contributes to predicting the long-term risk. Cardiovascular CT and MR provide important information for diagnosing and evaluating structural heart disease, enabling the prediction and preparation of the risk of sudden cardiac death. Therefore, we would like to focus on the various structural heart diseases that increase the risk of clinically-important sudden cardiac death and the importance of imaging findings.

Index terms Death, Sudden, Cardiac; Tomography, X-Ray Computed;
Magnetic Resonance Imaging

서론

급성 심장사는 증상이 생긴지 한 시간 이내에 발생하는 갑작스러운 심정지를 의미한다. 이런 급성 심장사는 주로 심장 부정맥에 의해서 발생하며 90% 이상의 환자에서 기저 심질환을 동반한다. 급성 심장사의 위험성을 증가시키는 질환으로는 관상동맥 질환과 동반되는 급성 심근경색이 가장 흔하다(1). 그 외에도 다양한 구조적 심질환 역시 급성 심장사의 위험성을 증가시키는 요인이기 때문에 존재를 파악하고 평가하는 것이 중요하다. 이에 있어 심장 전산화단층촬영(이하 CT)과 심장 자기공명영상(이하 MR)을 이용하여 급성 심장사의 원

Received September 4, 2020
Revised October 10, 2020
Accepted October 29, 2020

*Corresponding author

Sung Min Ko, MD
Department of Radiology,
Wonju Severance Christian
Hospital, Yonsei University
Wonju College of Medicine,
20 Ilsan-ro, Wonju 26426, Korea.

Tel 82-33-731-1487

Fax 82-33-732-8281

E-mail ksm9723@yahoo.co.kr

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

Jong Sun Lee
<https://orcid.org/0000-0001-6452-0935>
Sung Min Ko
<https://orcid.org/0000-0002-7420-6269>
Hee Jung Moon
<https://orcid.org/0000-0002-5643-5885>
Jhi Hyun Ahn
<https://orcid.org/0000-0003-3784-9350>
Hyun Jung Kim
<https://orcid.org/0000-0001-6522-9883>
Seung Whan Cha
<https://orcid.org/0000-0002-0754-8875>

인이 되는 다양한 구조적 심질환을 진단하고 평가하는 것이 향후 급성 심장사를 예방하는 데 도움이 된다. 따라서 본 임상화보에서는 급성 심장사의 원인이 되는 다양한 구조적 심질환의 심장 CT와 심장 MR에 대한 영상 소견들에 대한 소개와 전형적인 증례들을 통하여 영상의학과 의사에 심질환 영상에 대한 이해를 돕는 것을 목적으로 한다.

심장 CT

심장 CT는 관상동맥 CT의 프로토콜을 기본으로 한다. 촬영 전 경구 또는 정맥하 베타 차단제 투여를 통해 심박수를 낮춰 영상 품질을 향상시키고 방사선 노출을 줄인다. 후향적 심전도 동기 심장 CT에서 얻은 다중시기 영상자료의 재구축을 통해서 2방단축도(two-chamber short axis), 2방장축도(two-chamber long axis), 4방장축도(four chamber long axis), 심장 판막부와 같은 심초음파에서 볼 수 있는 다양한 시야의 영상을 만든다(2). 관류 심장 CT는 비침습적으로 심근 허혈을 진단할 수 있는 영상기술이며 심장 MR과 비교하였을 때도 진단의 정확도가 높다고 알려져 있다(3). 게다가 관상동맥 CT와 관류 영상을 같이 이용하게 되면 관상동맥의 해부학적, 생리학적 상태를 평가하고 지연기 영상에서 심근의 생존력까지도 평가가 가능하다(4). 심전도 동기 흉부대동맥 CT 조영술은 심박동 인공물(motion artifact)을 제거하므로 대동맥박리에서 근위부 대동맥 피판(flap)과 대동맥근부(aortic root), 관상동맥구(coronary ostia), 대동맥판(aortic valve)과의 관계를 평가하는데 있어 우수한 영상진단 방법이다(5).

심장 MR

다양한 심장 MR의 기법들을 이용하여 다양한 구조적 심질환 평가가 가능하다(6). 급속 스피네코(turbo spin echo)는 대혈관의 직경, 좌심실 심근의 특징과 심근의 지방침착 그리고 심장 종양을 평가하는데 유용하나 촬영 시간이 오래 걸리고 심장운동 인공물에 영향을 받아 영상 품질이 떨어져 현재는 경사에코(gradient echo)를 이용하여 심장 MR 검사를 한다. Steady-State Free Precession cine pulse sequence는 심근의 움직임과 기능을 평가하는데 가장 많이 사용되는 기법이다(7). 영화(cine) 심장 MR과 조영증강 반전회복 기법(contrast-enhanced inversion recovery)은 심방과 심실 내의 혈전을 발견하는데 유용하다. 위상대조 기법(phase-contrast pulse sequence)은 혈류의 속도와 최고 순간속도를 통해 순간경사의 최고점(peak instantaneous gradient)을 계산할 수 있다. 스트레스 부하 관류 심장 MR 촬영술은 심근 허혈을 발견하는데 있어 유용하며 지연 조영증강 반전회복 경사에코 기법(delayed contrast-enhanced inversion recovery gradient echo sequence)은 심근의 섬유화와 경색을 평가하는데 우수하다(8). 심근 T1 매핑(mapping)과 세포 외 부피 정량화(extracellular volume quantification)는 지연조영증강 심장 MR보다 심근의 섬유화 정도를 정량적 추정하는데 효율적이다(9).

급성 심장사의 분류

관상동맥 질환

죽상경화성 관상동맥 질환

죽상경화성 관상동맥 질환은 40세 이상 급성 심장사 중 70%~80%를 차지한다. 급성 심장사는 주로 부정맥에 의해 발생하며, 부정맥은 혈전 형성과 관상동맥 플라크의 파열 또는 출혈로 인한 급성 심근 허혈로 인해 야기된다(10). 급성 심장사의 위험은 관상동맥 근위부의 갑작스러운 폐쇄인 경우가 측부혈관 발달이 동반된 미만성 협착에 비해서 더 높다고 알려져 있다. 심장 CT는 비침습적으로 관상동맥의 협착을 정확하게 찾아내고 협착의 원인이 되는 동맥경화반을 평가하는데 사용된다. 급성 심장사의 위험 인자로는 양성 재형성을 동반한 지방적재 취약 플라크(lipid-rich laden vulnerable plaques with positive remodeling), 심한 협착, 여러 개의 혈관 침범, 낮은 좌심실 구혈률이 알려져 있다(11). 급성 관상동맥 증후군에서 취약 플라크(vulnerable plaque)의 특징은 더 큰 플라크 부피, 낮은 석회화 비율, 높은 재형성 지수(remodeling index), 낮은 CT 감쇠율, 반

Fig. 1. Cases of vulnerable plaque.

A. Curved MPR CCTA image shows significant stenosis with a noncalcified plaque (arrow) with central low attenuation (inlet, arrowhead) and positive remodeling in proximal right coronary artery.
 B. Curved MPR CCTA image shows significant stenosis with mixed calcified and noncalcified plaque (arrow) with peripheral contrast rim or napkin ring sign (inlet, arrowhead) and positive remodeling in proximal left anterior descending coronary artery.

CCTA = coronary CT angiography, MPR = multiplanar reformat



점성 석회화 그리고 조영증강되는 테두리(napkin ring sign)가 있다(Fig. 1) (12).

심근 허혈은 심실 부정빈맥을 야기하여 급성 심장사의 위험성을 높이지만 관상동맥 재개통술을 통해 급성 심장사의 위험을 낮출 수 있다. 스트레스 부하 관류 심장 CT와 심장 MR는 심근 허혈을 진단하는데 있어 효과적이다. 또한 관상동맥 CT를 함께 시행하여 관상동맥의 협착을 평가하면 심근 관류 진단의 정확도를 높일 수 있다(13).

허혈성 심근병증

허혈성 심근병증은 관상동맥 질환으로 인한 좌심실의 기능 이상(좌심실 구혈률 < 50%)이 야기되는 질환으로 이전에 심근경색이나 재관류 치료의 과거력이 있고 좌주관상동맥이나 좌전방하행 관상동맥 근위부 또는 2개 이상의 심외막(epicardial) 관상동맥의 75% 이상 내강 협착으로 정의한다(14-16). 허혈성 심근병증은 기절심근, 동면심근 그리고 심근경색의 3가지 형태로 나타난다. 기절 심근은 수축기능의 이상을 야기하는 일시적인 허혈 손상이며, 정상적인 관상동맥 혈류를 회복했음에도 불구하고 기절심근은 지속될 수 있다. 동면 심근은 만성적인 허혈 혹은 반복적인 기절심근으로 발생하는 심근의 수축기능 저하를 보이고 급성 심장사의 위험을 높이는 요인이 될 수 있다. 기절심근과 동면심근은 심근경색과는 다르게 모두 적절한 재관류 치료를 통해 수축력을 완전히 회복할 수 있다(15). 반면 심근경색은 심근에 지속적인 허혈로 인한 심근 세포의 죽음으로, 비가역적인 상황으로 재관류 치료에도 수축력은 회복되지 않는다(17). 좌심실의 심실중격막 또는 자유벽 파열과 그로 인한 심낭 압전, 급성 심부전, 승모판 기능 장애, 심실세동, 그리고 심장성 쇼크는 급성 심근경색에서 심장사가 발생하는 원인들이다. 이 중 심실벽 파열의 경우 심근경색 환자의 약 2.7%에서 합병증으로 나타나며 영상의학 검사를 통해 진단을 내릴 수 있는 중요한 합병증이다. 가장 흔한 파열 부위는 괴사된 심근과 정상 심근의 이행 부위이며 심실의 측벽에서 주로 발생한다(18).

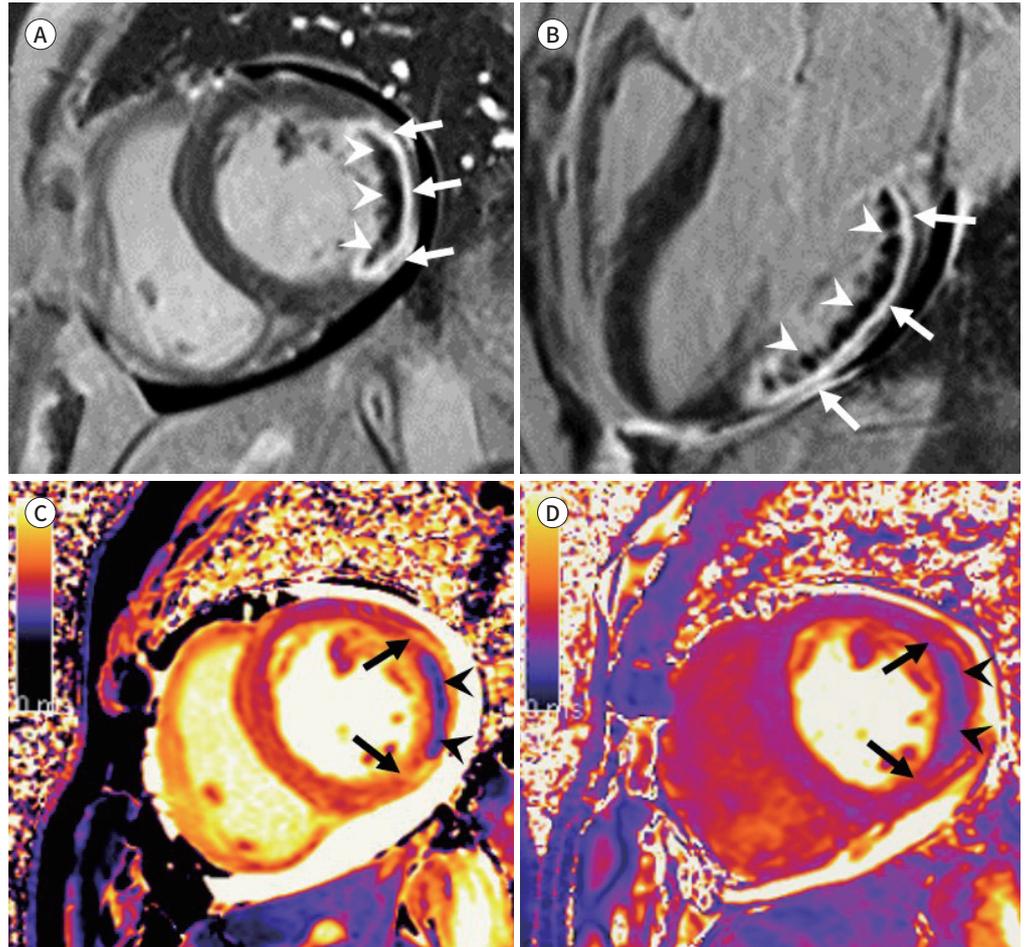
혈관 영역을 따라서 나타나는 지연조영증강은 심근경색의 심장 CT와 심장 MR에서 보이는 특징이다(19). 지연조영증강 영상은 심근경색을 평가하는데 가장 중요한 기법이다. 지연조영증강은 급성 심근경색의 경우 심근 세포의 괴사로, 만성 심근경색의 경우 섬유화로 인해 늘어난 세포 외 공간에 조영제 분포가 증가하는 것뿐만 아니라 차는 속도(wash in)와 씻김(wash out)이 느려지게 되어 발생하게 된다. T2 강조영상에서 나타나는 고신호 강도는 심근의 부종으로 인하며 이는 급성 허혈성 손상을 의미한다. 심각한 심근경색의 경우 말단 동맥(end artery)과 미세혈관의 폐쇄로 미세혈관 폐색(microvascular obstruction)이 발생할 수 있으며 이는 다른 환자들보다 안 좋은 예후를 나타내는 영상 소견이다. 이러한 미세혈관 폐색은 조영증강되는 심근 내부에 조영제가 도달하지 못하여 조영증강되지 않는 어두운 신호로 나타나게 된다(Fig. 2). 심장 CT는 좌심실의 기능, 관류 그리고 지연조영증강을 통해 동반된 심근경색 유무와 동반된 혈전을 평가하는데 이용될 수 있지만 임상적으로 가장 주요하게 적용되는 것은 관상동맥 영상을 통해 관상동맥의 협착 또는 폐색을 진단하는 것이다(14). 심장파열이 발생한 경우 조영증강 전 CT에서 높은 감쇄계수를 보이는 혈액심장막(hemopericardium) 뿐만 아니라 지연조영증강 영상을 통해 조영제의 혈관외 유출을 직접적으로 확인할 수 있다(Figs. 3, 4). 또한, 다른 저혈압성 쇼크와는 다르게 경정맥의 확장을 동반하게 되며 이는 CT에서 대동맥보다 커진 것으로 확인할 수 있고 조영증강을 하였을 때 조영제

Fig. 2. A 55-year-old male who had an acute myocardial infarction and underwent percutaneous coronary intervention.

A, B. Delayed contrast-enhanced cardiac MR images show transmural delayed enhancement (arrows) and perfusion defect (arrowheads), corresponding to the transmural extent of myocardial infarction and microvascular occlusion in the basal to mid inferior and inferolateral LV wall. Pericardial effusion is also noted.

C, D. T1 and T2 mapping images show transmural high T1 and T2 values (arrows) and low T1 and T2 values (arrowheads) in the basal to mid inferior and inferolateral LV walls.

LV = left ventricle



가 azygos vein과 확장된 간, 신정맥으로 역류하는 것을 확인할 수 있다. 심근 파열이 원인일 경우 심장 CT는 다른 합병증 혹은 대동맥박리와와의 구별에 유용하며 심근 파열 부위를 정확히 알아낼 수 있다(18). 심장 MR은 심실의 용적, 기능 그리고 경색으로 인한 변화를 가장 정확하게 진단할 수 있는 영상검사 도구이다. 심실의 각 구역의 운동 감소와 혈관 영역에 따른 지연조영증강을 통해서 관상동맥 질환의 유무뿐만 아니라 특정 심근 구역에 지배적인 관상동맥을 특정할 수 있다. 또한, 경색 주변 부위에 있던 기능의 이상을 보이는 기질 또는 동면 심근이 재관류 치료 후에 회복되는 것을 발견할 수 있다(14, 15).

비죽상경화성 관상동맥 질환

60%~80%의 급성 심장사가 죽상경화성 관상동맥 질환에 의해 야기되지만, 이상관상동맥, 관상

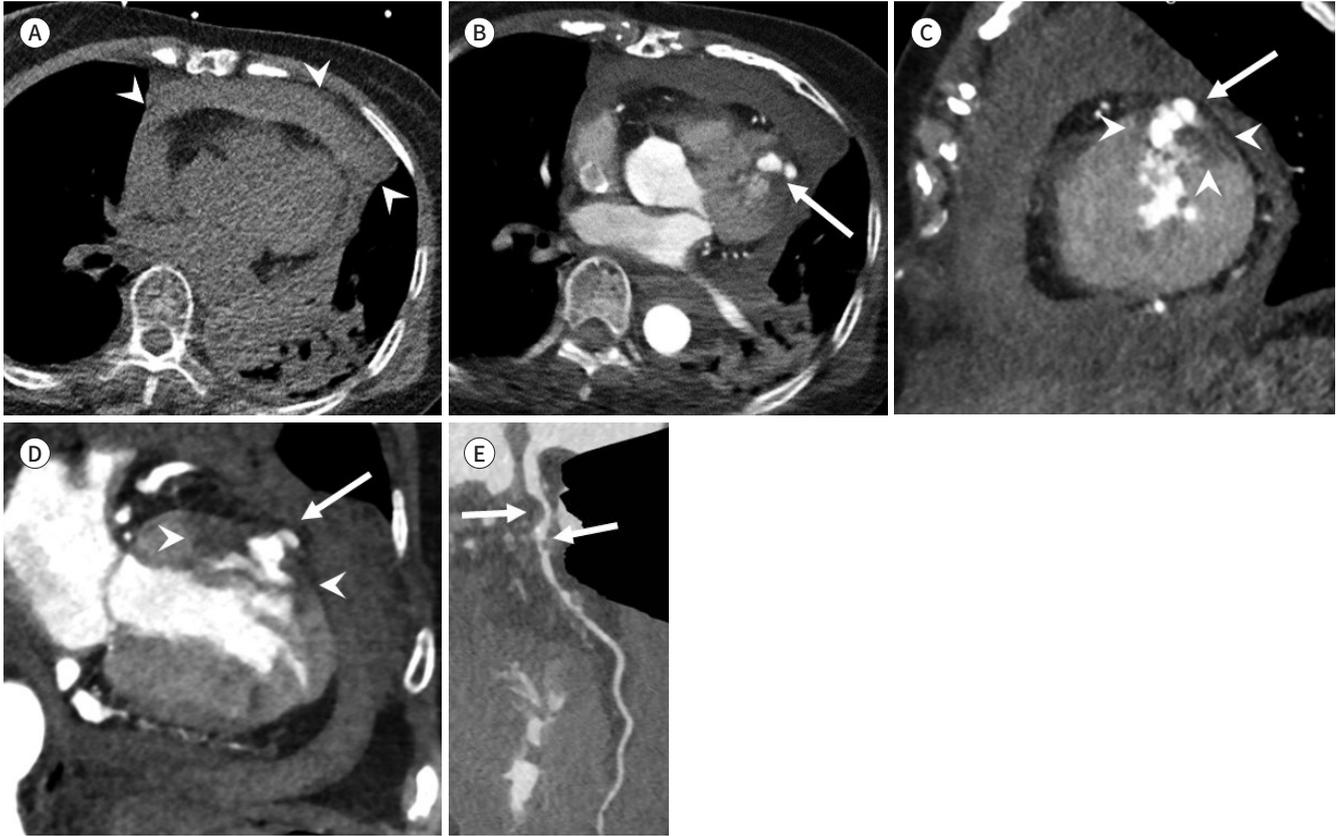
Fig. 3. A 81-year-old female with LV free wall rupture.

A. Non-contrast CT image shows acute hemopericardium (arrowheads).

B-D. Contrast-enhanced axial (B), short-axis (C), and two-chamber (D) multiplanar reformat CT images show patchy contrast filled outpouching lesion (arrows) surrounded by a low signal intensity in mid anterior LV wall (arrowheads).

E. Curved MRP coronary CT angiography image shows significant stenosis with a noncalcified plaque in the proximal left anterior descending coronary artery (arrows).

LV = left ventricle



동맥 박리, 또는 연축에 의해서 급성 심장사가 발생한다(12).

이상관상동맥

급성 심장사와 동반된 가장 흔하며 임상적으로 중요한 이상관상동맥의 주행 경로는 반대편 대동맥동(sinus of Valsalva)에서 기원하여 대동맥 근위부와 폐동맥 사이를 지나가는 것이다(Fig. 5). 동맥간 주행 경로를 가지는 이상 관상동맥 중 가장 위험한 경우는 좌관상동맥이 우관상동맥 대동맥동에서 기원하는 것이다(20) 급성 심장사의 기전은 정확히 밝혀지지 않았지만 대동맥과 폐동맥 사이에서 발생하는 관상동맥의 압박, 이상관상동맥과 동반되는 예각기시, 매우 좁은 저형성 관상동맥구, 그리고 대동맥판막 경계에서 발생하는 압박 등이 급성 심장사의 위험을 증가시킨다고 알려져 있다(21). 심장 CT는 급성 심장사의 위험요소인 심각한 혈역학적 장애를 유발하는 비정상적인 구멍의 위치, 관상동맥의 주행 경로를 비침습적으로 확인할 수 있다(Fig. 6) (22).

Fig. 4. A 79-year-old male with LV free wall rupture.

A. Non-contrast axial CT image shows acute hemopericardium (arrows).

B. Contrast-enhanced axial CT image shows patchy contrast-filled outpouching lesion (arrow) in the lateral LV wall.

C, D. Cardiac CT obtained 1 week later show no contrast leakage in the LV lateral wall on early phase three-chamber MPR image (**C**) and patchy hypoenhancement (arrow) in the basal lateral LV wall on a 5 min delayed phase three-chamber MPR image (**D**).

E. Curved MPR coronary CT angiography image shows occlusion in the distal left circumflex artery (arrow).

F, G. Delayed contrast-enhanced short axis (**F**) and three-chamber (**G**) cardiac MR images show transmural delayed enhancement (arrows) with central low signal intensity (arrowheads) in the basal to mid-lateral wall LV wall.

LV = left ventricle, MPR = multiplanar reformat

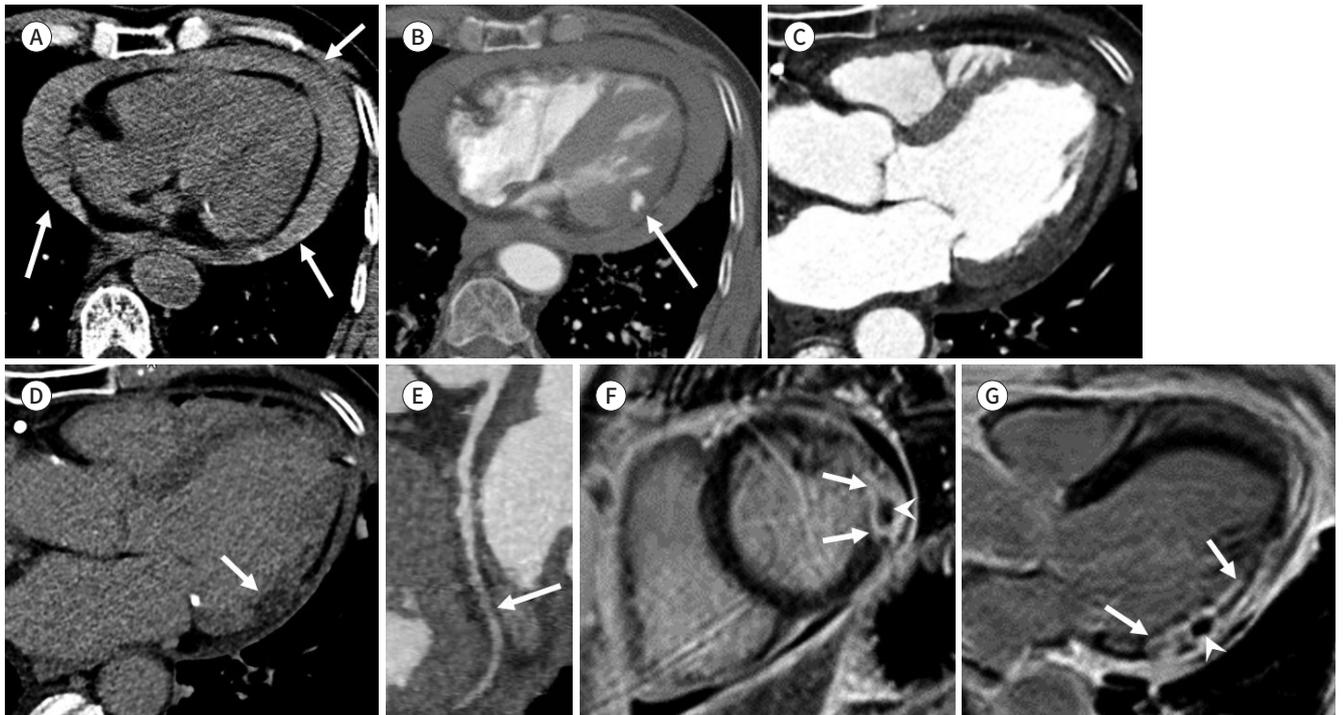


Fig. 5. A 61-year-old male with anomalous origin of coronary artery arising from the opposite sinus of Val-salva.

A, B. Double oblique maximum intensity projection images of the aortic valve show the RCA (arrows) originating from the opposite sinus of Valsalva and passing between the aorta and the pulmonary trunk and show a dynamic slit-like luminal narrowing of the proximal RCA at mid-diastole (**A**) and end-systole (**B**).

RCA = right coronary artery

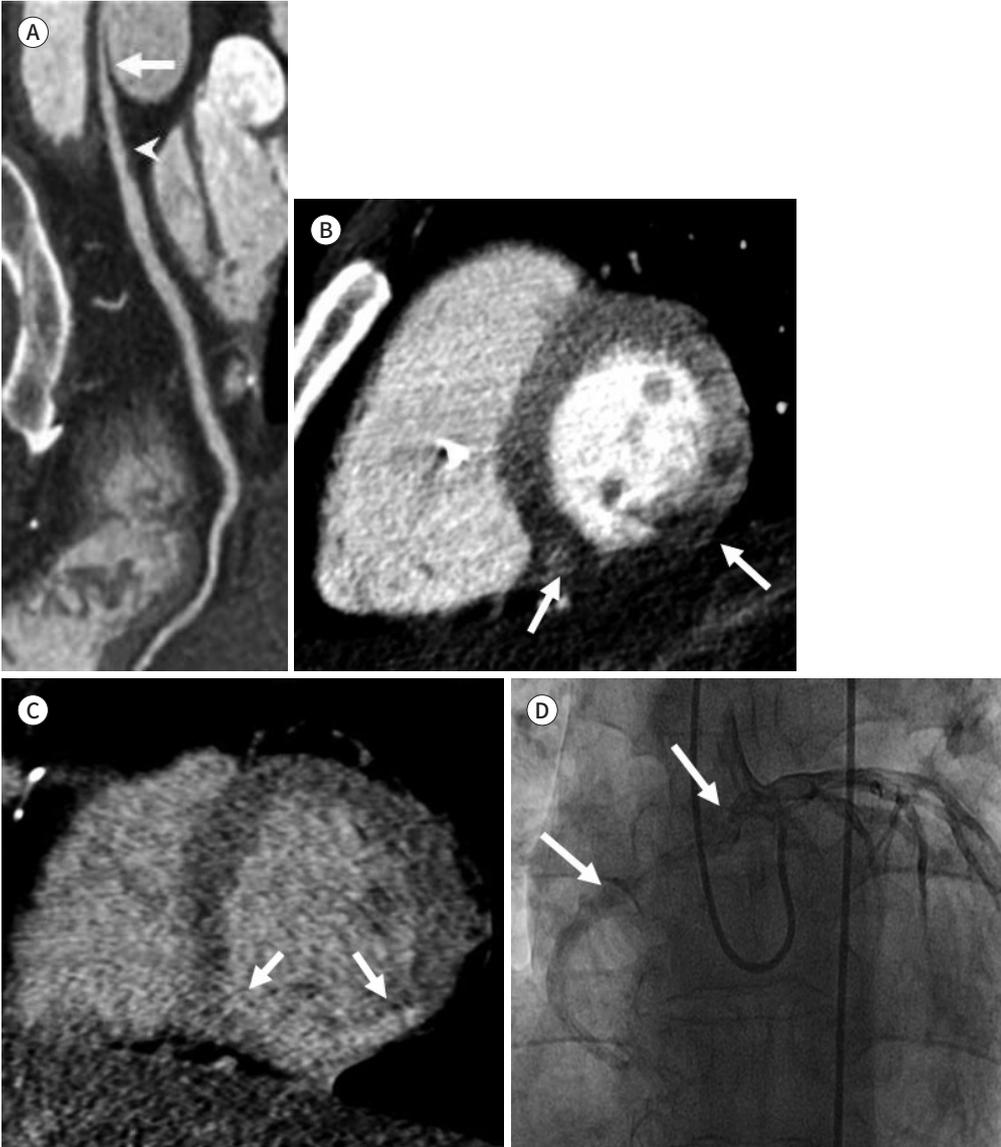


Fig. 6. A 35-year-old male with anomalous origin of coronary artery arising from the opposite sinus of Valsalva and acute myocardial infarction.

A. A curved MPR CCTA image shows an RCA (arrow) arising from the left sinus of Valsalva with an interarterial course between the aortic root and the pulmonary trunk and luminal narrowing of the proximal RCA without atherosclerotic plaque. Insignificant stenosis with a noncalcified plaque is also noted in the proximal RCA (arrowhead).

B, C. Two-phase short-axis MPR CT images show transmural early hypoattenuation and delayed hyperenhancement (arrows) in the mid inferoseptal and inferior left ventricle wall.

D. Conventional coronary angiography shows the RCA (arrows) arising from the left sinus of Valsalva.
CCTA = coronary CT angiography, MPR = multiplanar reformat, RCA = right coronary artery



관상동맥연축(Coronary Artery Spasm)

관상동맥연축은 관상동맥의 폐쇄를 동반하지 않는 일시적, 갑작스러운 협착을 의미한다. 이는 종종 치명적인 심실 부정맥을 발생시켜 급성 심장사를 야기한다. 이러한 관상동맥의 협착은 혈관 벽 내 평활근의 수축에 의해 발생한다(12). 관상동맥의 음성 재형성(negative remodeling)과 중간 정도의 감쇠를 보이는 비석회화 플라크가 있는 부위에서 관상동맥연축이 나타나고, 정상적인 모

양을 보이는 관상동맥에서는 발생하지 않는다(23).

임상적으로 증상이 있을 때 심장 CT 촬영술을 시행하는데 제한이 있지만 CT 촬영술은 높은 특이도와 진단적 정확도를 가진다. 특히 플라크가 없으면서 음성 재형성을 동반한 협착은 특징적인 관상동맥연축의 소견이다. 이와 더불어 위에서 언급된 관상동맥연축의 영상의학적 소견이 있는 급성 흉통 환자들의 심장 CT 소견은 다른 급성 흉통의 원인들과의 감별하는데 있어 도움이 된다(24).

비허혈성 심근병증

비후성 심근병증

비후성 심근병증은 미만성 혹은 분절성으로 좌심실벽이 두꺼워지는 질환이며 좌심실의 보상성 확장은 동반하지 않는다. 정상적인 좌심실벽의 두께는 12 mm 이하이지만 비후성 심근병증에선 15 mm 이상으로 두꺼워진다(25). 가장 흔한 비대형 심근병증은 비대칭적 격막 비대형이며 좌심실벽이 두꺼워질수록 심근의 섬유화 정도와 좌심실 기능의 저하가 진행된다(26). 비후성 심근병증은 젊은 성인에서 가장 흔한 급성 심장사의 원인이며 전체 급성 심장사에서 두 번째로 흔한 원인이다(25). 비후성 심근병증에서 발생할 수 있는 급성 심장사의 원인은 명확히 알려져 있지 않으나 악성 부정맥, 좌심실 유출로 경사의 혈역학적 악화에 따른 실신, 그리고 심근허혈로 인한 가능성이 있을 것으로 생각된다(27). 주요한 급성 심장사의 위험 요소로는 30 mm 이상의 좌심실벽 두께, 휴식기 30 mm Hg, 수축기 50 mm Hg 이상의 좌심실 유출로 압력차이, 좌심실 확장과 동반된 좌심실 구혈률과 심근의 섬유화 여부가 있다(26).

심장 CT는 좌심실의 형태를 평가하는데 유용하며 특히 경흉벽심초음파에서 제한이 있는 심첨부를 평가할 수 있다. 또한, 동반할 수 있는 관상동맥의 죽상경화증, 심근 다리(myocardial bridging) 여부를 진단하는데 유용하다(28). 심장 MR은 심장의 형태학적 특징과 좌심실의 기능을 평가하는 것뿐만 아니라 비후성 심근병증에서 보일 수 있는 수축기 전방 운동과 동반된 좌심실 유출로 폐쇄와 승모판 역류를 velocity encoding MR을 이용하여 좌심실 유출로와 승모판을 통과하는 혈류의 속도와 부피를 이용하여 승모판 역류 비율과 좌심실 유출 시의 최고 속력을 계산하여 정량화할 수 있다(Fig. 7). 또한 심장 MR은 급성 심장사와 밀접한 관련 있는 인자인 심근의 섬유화 여부를 평가할 수 있다(12). 심장 MR은 지연조영증강되는 심근의 섬유화를 발견과 정량화할 수 있을 뿐만 아니라 조영증강 전과 후 심근 T1 매핑(mapping) 영상을 통한 세포 외 부피 정량화를 측정할 수 있어 이를 통해 비후성 심근병증의 진단과 치료 반응 평가에 중요한 역할을 한다(9). 또한, 비후성 심근병증 환자에서 지연조영증강 되는 심근의 범위는 발생할 수 있는 심혈관계 합병증뿐만 아니라 급성 심장사의 발생과 주요한 상관관계를 가지고 있는 중요 예후인자이다(Fig. 7).

확장성 심근병증

확장성 심근병증은 수축기능 저하를 일으키는 원인이 없이 발생하는 좌심실 혹은 양심실의 확장과 수축기능 저하를 특징으로 하는 질환이다(29). 확장성 심근병증은 특발성, 가족성과 심근의

Fig. 7. A 55-year-old male with hypertrophic cardiomyopathy.

A. Cardiac MR LVOT image shows asymmetrical septal hypertrophy (arrows) with a maximal thickness of 27 mm at diastole.

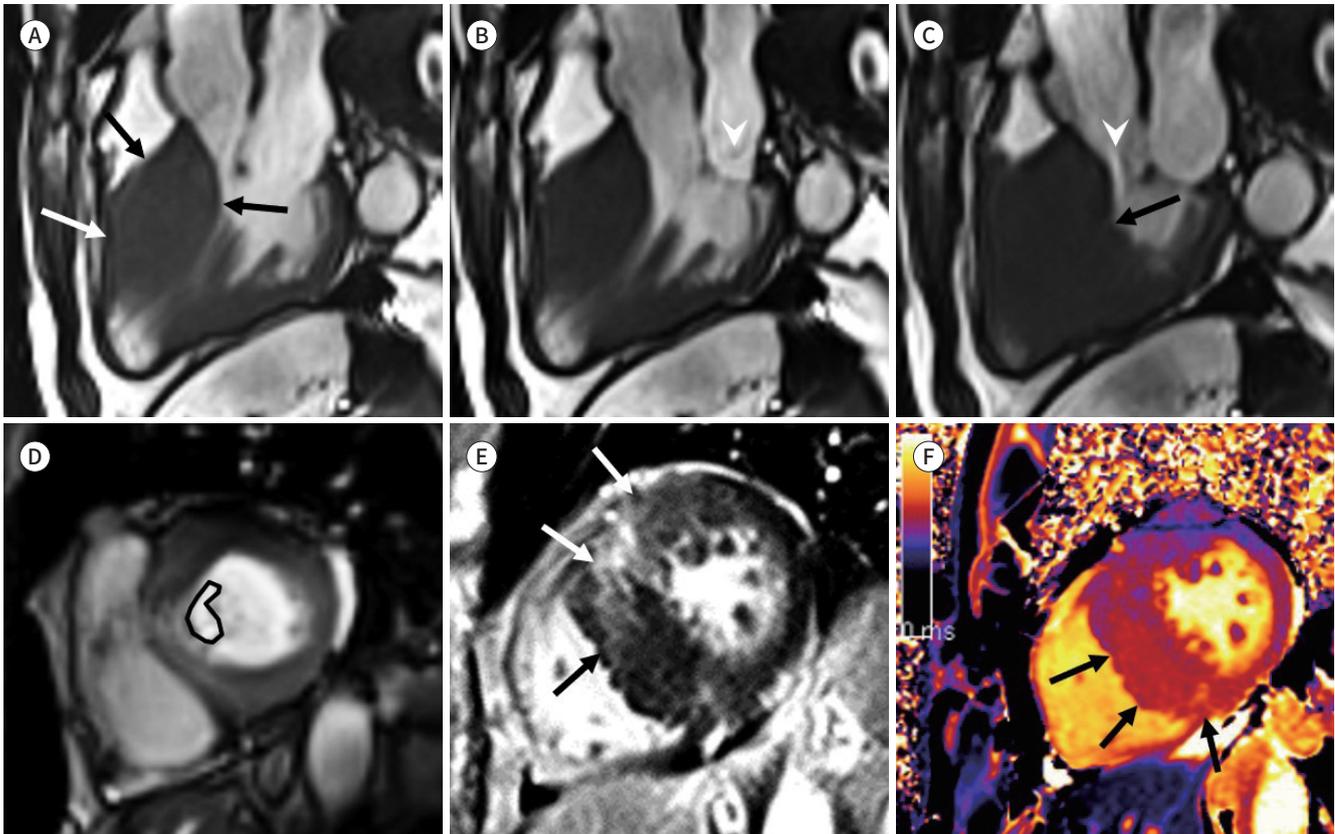
B, C. Cardiac MR LVOT images show pencil-like mitral regurgitation flow back (arrowheads) into the left atrium at early systole (B) and near complete collapse of the LV cavity (arrow) and flow turbulence at the level of stenosis of the LVOT at mid-systole (C). In this case, the mitral regurgitant volume is the difference (7 mL) between the LV stroke volume (63 mL) and the aortic forward stroke volume (55 mL) measured by phase-contrast cardiac MR. The mitral regurgitation fraction is the ratio (0.11) of the mitral regurgitant volume (7 mL) divided by the LV stroke volume (63 mL). The peak velocity of the flow jet in the LVOT measured by phase-contrast cardiac MR was 1.6 m/sec.

D. Cardiac MR short-axis image measures the cross-sectional area of the LVOT (1.5 cm²).

E. Delayed contrast-enhanced short-axis cardiac MR image shows diffuse mid-wall delayed enhancement (arrows) in the mid anterior and anteroseptal LV wall.

F. T1 mapping image shows high T1 values (arrows) in the mid-layer of the interventricular septum of the left mid-ventricle.

LV = left ventricle, LVOT = left ventricular outflow tract



부상을 야기하는 다양한 원인에 의해 발생한다. 특발성으로 발생한 경우 급성 심장사가 제일 먼저 나타나는 증상일 수 있으며 약 10% 정도의 빈도로 나타난다. 방실 다발 갈래 재귀(bundle-branch reentry)로 인한 심실성 부정빈맥이 가능한 발생기전이며(30), 동반되는 부정맥, 심부전 혈전색전증이 있을 경우 사망률이 증가된다.

확장성 심근병증에서 심장 MR의 목표는 심실의 용적과 벽의 두께 그리고 전반적인 좌심실의 기능을 평가하는 것이다(31). 심장 MR은 심근의 지연조영증강의 패턴을 통해 확장성 심근병증과 좌심실의 기능 이상을 야기하는 관상동맥 질환과의 감별이 가능하다. 지연조영증강을 동반하지 않는 전반적인 좌심실의 운동 저하는 허혈성 심근병증과의 감별이 필요한데, 심장 CT를 이용하여 비침습적으로 관상동맥의 협착이나 폐쇄 여부를 평가할 수 있다. 심장 CT에서 심근 중간층 주위에 보이는 곡선형의 지방과 심장 MR에서의 지연조영증강은 확장성 심근병증의 특징적인 영상

소견이다(32). 심장 MR에서, 확장성 심근병증에서 나타나는 조영증강 패턴은 60% 정도에서는 조영증강이 보이지 않지만 약 12%–35%에서는 특징적인 중간층(mid layer)의 조영증강이 보인다. 이러한 지연성 조영증강은 고위험군 환자들을 추적관찰하는데 강력한 예후인자로 작용한다. 또한, 심장 MR 심근 T1 매핑(mapping) 영상은 전반적인 심근의 섬유화 정도를 정량화할 수 있다 (Fig. 8) (33).

심근염

심근염은 급성 혹은 만성적인 심근의 염증 질환이다. 바이러스, 세균성, 기생충 또는 심장 독성을 가지는 약물에 의해서 발생하며 콕사키 B 바이러스가 가장 흔한 원인이다. 대부분의 환자는 무증상이지만 약 12%에서는 급성 심장사로 나타날 수 있다(12). 급성 심장사를 야기하는 위험 요인이 증명되지 않았지만, 우심실 침범과 동반된 좌심실 수축기능 저하가 관련이 있을 것으로 생각된다. 초기에는 부종, 괴사, 수축기능의 저하를 동반하는 직접적인 심근의 손상이 발생하게 되고 치유과정에서 흉터를 남기게 된다. 이러한 흉터는 부정맥의 원인이 되거나 전도 체계에까지 관여하여 심장 차단을 야기할 수 있다(34). 심근염의 진단은 임상 양상과 심근의 생검을 통해서 확인이 되지만 Lake Louise Criteria로 알려진 심장 MR 진단기준을 통해 진단에 도움을 줄 수 있다. 해당 기준은 1) T2 강조영상에서의 심근 부종, 2) 조영증강 전, 후 T1 강조영상에서 충혈, 3) 지연조영증강에서 보이는 심근의 섬유화 혹은 괴사가 포함된다. 위의 3가지 기준 중 2가지 이상을 만족할 때 활성 심근염을 나타낸다.

심장 MR 촬영술에서 심근염의 지연조영증강 패턴은 여러 개의 결절성의 조영증강이 주로 좌심실의 하외측 심외막하층에 나타나며 일부는 심근 전 층에서 나타난다(Fig. 9) (35). 급성기에는 결절성의 조영증강이 좌심실벽에 보이게 되며 추적관찰 시에 조영증강은 점차 감소하게 된다(36).

Fig. 8. A 62-year-old male with dilated cardiomyopathy.

A. Cardiac MR four-chamber image shows dilated LV and left atrium with decreased LV wall thickness except for mid septum and reveals pleural effusion and pericardial effusion.

B. Delayed contrast-enhanced short-axis cardiac MR image shows diffuse mid-wall delayed enhancement (arrows) in mid septum, anterior and inferior LV wall.

C. T1 mapping image shows high T1 values in the mid-wall of the entire middle LV (arrows).

LV = left ventricle

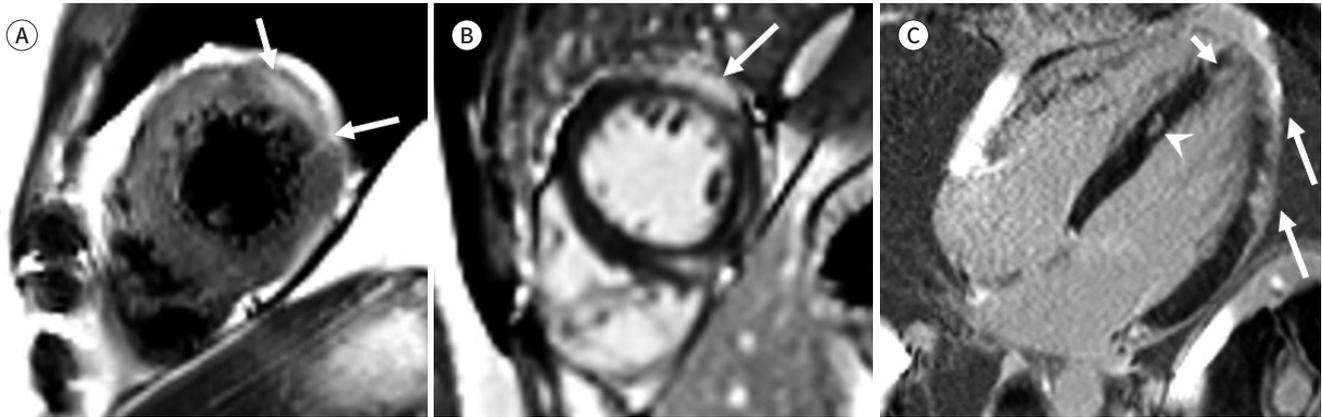


Fig. 9. A 26-year-old male with acute myocarditis.

A. Cardiac MR short-axis T2 weighted image shows subepicardial high signal intensity (arrows) in the mid-lateral LV wall.

B, C. Delayed contrast-enhanced short-axis (B) and four-chamber (C) cardiac MR images show a delayed enhancement in mid to apical lateral LV wall (long arrows), mid-wall patchy delayed enhancement in the mid septum (arrowhead), and subendocardium in the apical septum (short arrow).

LV = left ventricle



심장 아밀로이드증

심장 아밀로이드증은 아밀로이드 단백질이 심근, 판막에 침착되어 심근의 전반적인 비후와 심실의 수축, 이완 장애를 유발하는 질환이다. 임상 증상으로는 주로 제한성 심근병증의 형태로 나타나게 된다. 이완/수축기능 장애와 심실성 부정맥 그리고 심장 내 혈전, 색전이 발생하고 이로 인해 급성 심장사가 야기된다. 심부전이 동반되는 경우 예후는 매우 불량하며 평균 기대 여명은 4-6개월이다(37).

아밀로이드 단백질은 심장의 모든 심방과 심실에 침착된다. 이는 심장 CT와 MR에서 심실벽의 비대와 비균질한 감소로 보이고 미만성, 심내막하 지연조영증강으로 나타난다(Fig. 10) (38). 또한, 심근에 침착된 아밀로이드 단백질로 인하여 신호 무효화(signal nulling) 또는 역전을 야기하고 이로 인하여 혈액과 심근 사이의 대조 신호(contrast signal)의 차이를 감소가 일어나 심근 신호에 무효화(nulling)를 위한 적합한 반전 시간 선택에 제한이 있어 적절하지 못한 신호 무효화가 나타날 수 있다. 이런 특징적인 조영증강으로 심장 아밀로이드증과 심근경색, 사르코이도증과의 감별진단이 가능하다. 최근 역동적 equilibrium 심장 CT (dynamic equilibrium cardiac CT)를 통해 세포 외 부피 비율을 측정할 수 있어 이를 통해서 심장 아밀로이드증의 진단과 정량화를 할 수 있다(12).

심장 사르코이도증

사르코이도증은 비건락성 육아종이 전신을 침범하는 질환이며 이 중 약 5%가량에서 심장 침범이 발견된다. 가장 흔한 증상으로는 흉통, 심계항진, 호흡곤란과 실신이 있다. 이런 증상은 전도 장애, 심실 혹은 심실상 부정맥과 심부전으로 인해 발생하고 심한 경우 급성 심장사까지 유발할 수 있다(39). 급성 심장사의 빈도는 12%-65%까지 다양한 빈도로 발생한다고 하며 심장사의 위험 요소는 알려져 있지 않다(40).

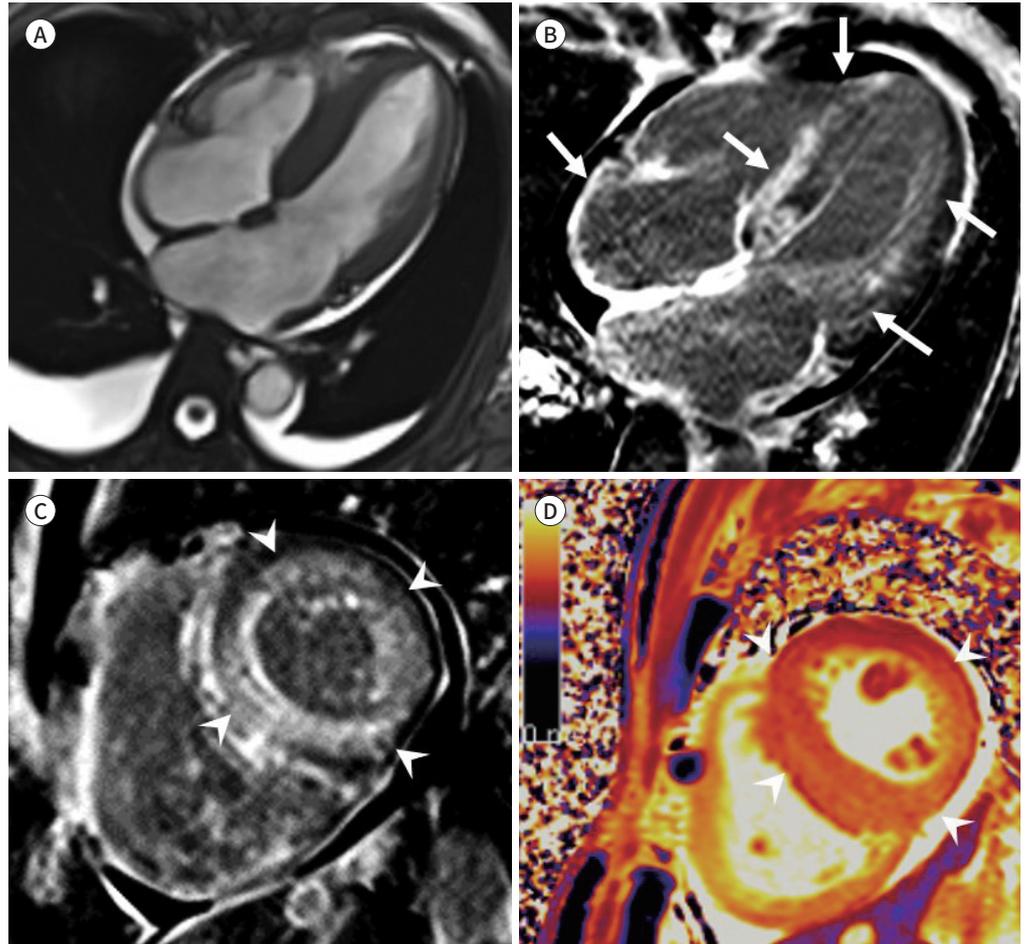
Fig. 10. A 61-year-old male with cardiac amyloidosis.

A. Cardiac MR four-chamber image shows asymmetric LV septal hypertrophy, pleural effusion, and pericardial effusion.

B, C. Delayed contrast-enhanced four-chamber (**B**) and short-axis (**C**) cardiac MR images show diffuse, circumferential subendocardial delayed enhancement (arrows) in all four cardiac chambers (**B**), particularly global transmural delayed enhancement in the LV wall (**C**, arrowheads).

D. T1 mapping image shows high T1 values in the entire LV wall (arrowheads).

LV = left ventricle



심장 CT는 심장을 침범한 경우에 나타날 수 있는 심장 비대, 심낭삼출, 심실류를 진단하는데 유용하다. 다만 심실벽의 비후, 심근의 흉터, 심실류와 같은 심장, 심근의 말기 변화를 평가하는데는 유용하지만 초기의 변화의 진단에는 제한이 있다(39). 심장 MR은 뛰어난 공간 분해능과 조직 대비를 가지고 있어 심근의 변화를 평가하는데 유용하다. 질환의 초기와 말기에 발생하는 흉터와 섬유화로 인한 지연조영증강 패턴을 이용하면 효과적으로 심장 사르코이드증을 평가할 수 있다(41). 심장 사르코이드증은 심근의 어느 부위에나 나타날 수 있지만 가장 흔하게 침범하는 부위는 좌, 우심실벽 전 층이며 전 층이 아닐 경우 심외막하 또는 중간이다(Figs. 11, 12) (40).

Fig. 11. A 74-year-old male with cardiac sarcoidosis.

A. Early contrast-enhanced four-chamber MPR CT image shows concentric LV wall hypertrophy.

B. Delayed contrast-enhanced short-axis MPR CT image shows diffuse transmural and mesocardial delayed enhancement in mid-LV wall (arrows).

C. Delayed contrast-enhanced short-axis cardiac MR image shows diffuse mesocardial enhancement in the septum and multifocal patchy mesocardial enhancement in mid anterior, lateral, and inferior LV wall (arrows).

LV = left ventricle, MPR = multiplanar reformat

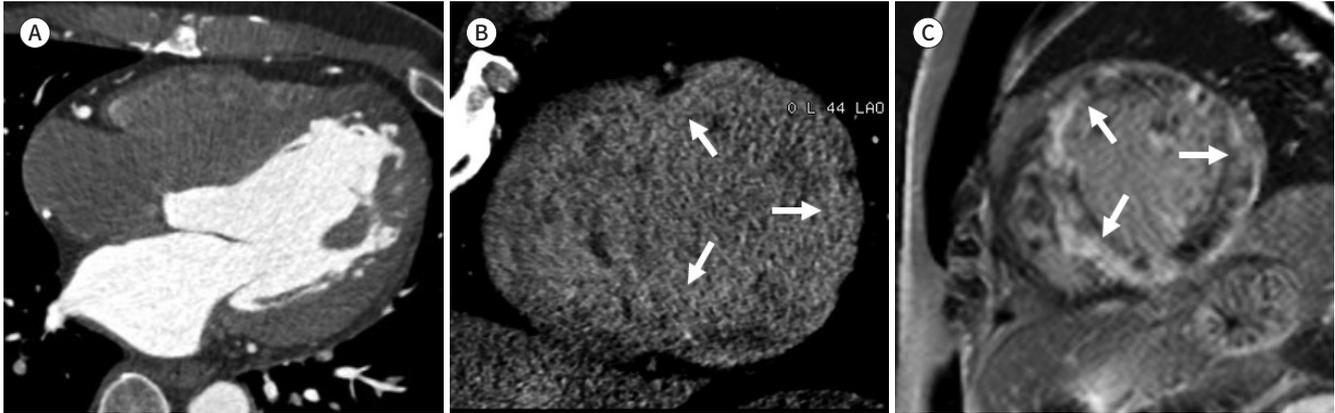
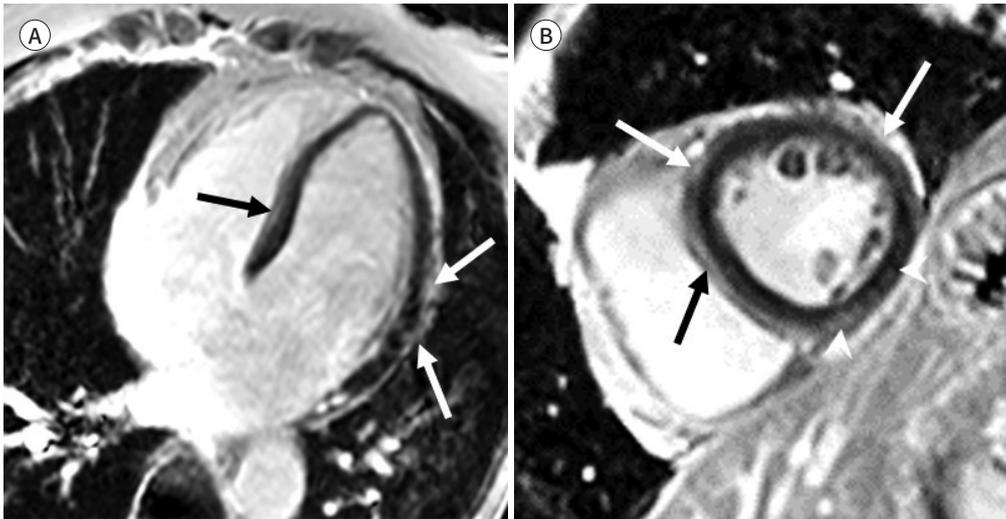


Fig. 12. A 57-year-old male with cardiac sarcoidosis.

A, B. Delayed contrast-enhanced four-chamber (A) and short-axis (B) cardiac MR images show subepicardial enhancement in the mid anterior, septal, and lateral LV wall (arrows) and mid-wall enhancement in the mid inferior LV wall (arrowheads).

LV = left ventricle



대동맥판막질환

대동맥판협착

대동맥판협착 환자에선 좌심실 비대와 낮은 심박출량으로 인한 관상동맥 저혈압으로 심실 부정맥이 발생하여 급성 심장사가 야기된다(12). 대동맥판협착의 주된 원인은 노화와 관련된 퇴행성 석회화 협착, 죽상경화성 대동맥판, 선천성 이첨판과 류마티스 판막성 심질환이다. 퇴행성 석회

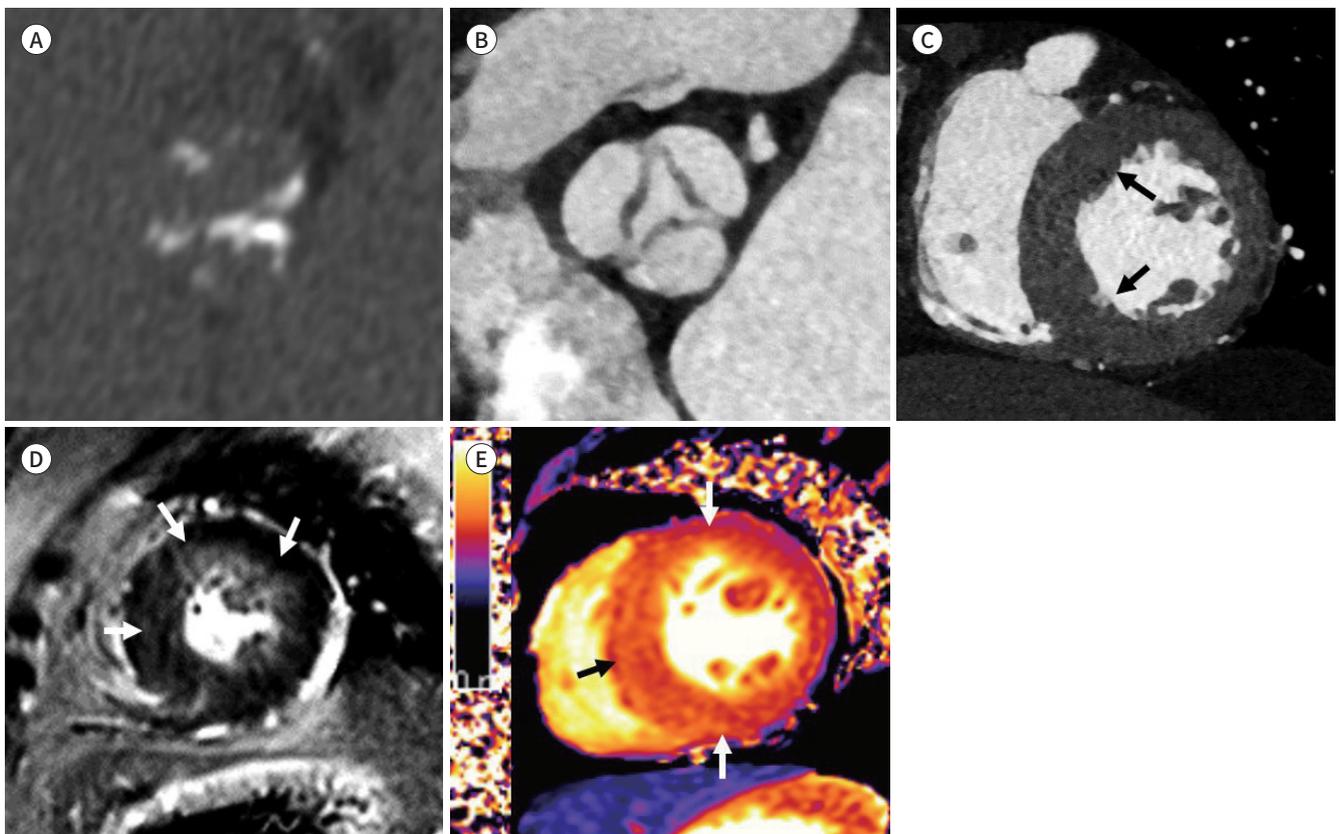
화 협착의 경우, 석회화 판류부터 시작하여 연결첨판의 가장자리를 따라 침착된다. 류마티스성 협착은 1개 이상의 맞교차(commis sure)가 융합되고 첨판에 석회화를 동반하는 섬유화가 일어난다(42). 증상이 없는 대동맥판협착 환자에서 급성 심장사의 위험도는 낮으나, 판막 수술 후에 동반되는 부정맥으로 인한 급성 심장사의 위험도는 높아서 판막 수술 후 사망의 두 번째 흔한 원인이 된다(12).

심장 CT는 판막 수술 전 해부학적 구조와 석회화의 정도를 평가하는데 유용하며 수술 후 평가에도 사용된다. 삼차원 재구축을 통한 심장과 판막 그리고 대동맥 최대 직경, 모양과 범위와 같은 해부학적 정보와 선천성 이첨판과 연관된 구조물을 평가할 수 있다(42). 심근 섬유화의 여부는 심질환의 나쁜 예후, 심한 대동맥판협착 그리고 대동맥판 교체 수술 후의 나쁜 예후와 연관이 있다. 이러한 심근의 섬유화 여부와 정량화를 하는데 있어서 심장 MR은 효율적인 영상매체이다. 뿐만 아니라 심장 MR은 판막의 형태, 판막 기능 이상의 정량화와 대동맥판막협착의 좌심실에 대한 영향을 평가할 수 있다(Fig. 13) (43).

Fig. 13. A 74-year-old female with severe aortic valve stenosis.

- A.** Non-contrast electrocardiogram-gated calcium scan shows severe calcification of the aortic valve.
- B.** Double oblique MPR image of the aortic valve shows severely narrowed aortic valve orifice (area of 97 mm²) at systole.
- C.** Short-axis MPR CT image shows hypertrophied mid-LV wall, particularly asymmetric septal hypertrophy (arrows) at end-diastole (septum: 19 mm and lateral wall: 10 mm in thickness).
- D.** Delayed contrast-enhanced short-axis cardiac MR image shows diffuse mid-wall delayed enhancement (arrows) in the septum and subendocardial delayed enhancement in anterior wall and anterolateral LV wall.
- E.** T1 mapping image shows high T1 values (arrows) in mid-wall in the septum and subendocardium in the anterior, lateral, and inferior LV wall.

LV = left ventricle, MPR = multiplanar reformat



인공 판막 기능 부전

대동맥판 관련 질환은 대부분 수술적 치료를 요하는 흔한 판막 질환이다. 수술 후 발생하는 대부분 합병증은 무증상이거나 서서히 시작한다. 그렇지만 이러한 합병증은 생명에 위협을 줄 수 있기 때문에 인공 판막 수술을 받은 환자들은 합병증을 조기에 발견하기 위해 적절한 영상의학적 검사를 통해 추적관찰을 해야 한다. 판막 수술 후 기능과 합병증을 평가하는데 있어서 가슴 경유 심장초음파 검사가 표준적인 검사법이지만 시술자 의존성, 인공 판막의 후향 음영으로 인한 제한점이 존재한다. 심장 CT와 MR은 심장초음파 검사의 단점을 보완하면서 영상을 통해 임상 정보를 제공하는 중요한 진단적 도구이다.

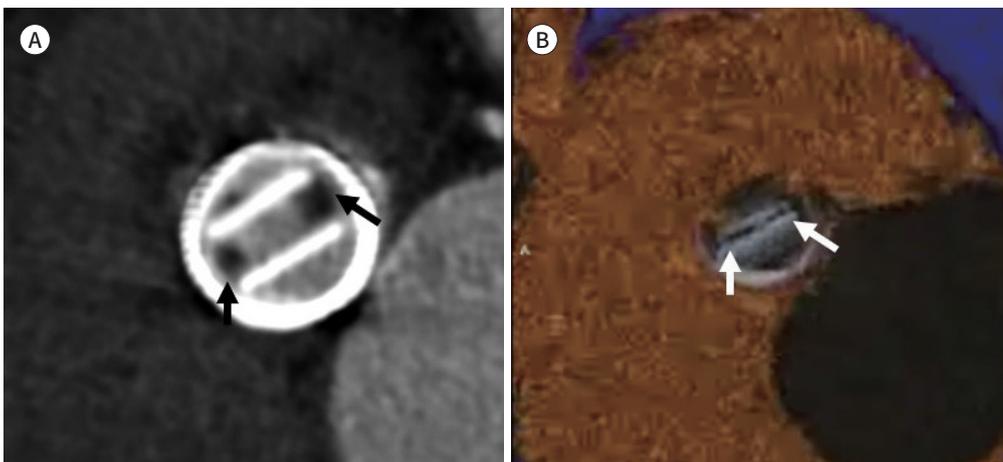
수술 후 동반될 수 있는 합병증으로는 판막 역류, 판막 결손부터 인공 판막 관련 심내막염과 판막의 폐쇄에 이르기까지 다양하다. 이중 인공 판막의 폐쇄는 급성 심장사를 야기할 수 있는 주요한 합병증으로 인공 판막이 기능을 제대로 하지 못하여 심부전, 색전증이 발생하고 이로 인해 사망까지 이를 수 있다. 인공 판막의 폐쇄는 혈전 또는 판누스(pannus)에 의해서 발생한다. 판누스는 심내막의 회복 과정에서 나타나는 섬유조직이다. 이러한 판누스는 혈전과의 감별이 중요한데 이는 판누스의 경우 항응고제에 반응하지 않고 수술적 치료가 필요하기 때문이다.

심장초음파는 인공 판막의 폐쇄를 야기한 병변을 확인하고 동반된 혈류 흐름의 이상을 진단하는데 효율적이지만 초음파가 가지는 한계로 인해 정확한 크기와 병변의 감별에 제한이 있다. 이러한 점에서 심장 CT는 병변을 특정하는데 있어 우수한 능력을 보인다. 혈전은 주로 인공 판막에서 대동맥 쪽에 발생하며 비교적 크기가 크다. 심장 CT에서는 낮은 감쇄(< 200 Hounsfield unit (이하 HU))를 보이며 조영증강이 되지 않는다. 반면 판누스의 경우 인공 판막의 심실 쪽에 발생하며 크기가 작다. 심장 CT에서는 높은 감쇄(> 200 HU)로 나타나고 조영증강이 된다. 또한 심장 CT는 치료 반응을 평가하고 예측하는데 있어 효과적인 영상의학 도구이다(Fig. 14) (44, 45).

Fig. 14. A 76-year-old male with prosthetic valve thrombosis.

A. Double oblique multiplanar reformat image of the aortic valve shows thrombi (arrows) in the prosthetic aortic valve.

B. Static cine image of the aortic valve shows severe slit-like narrowing of the opening of the prosthetic valve at systole (arrows).



심장 종양

대부분의 심장 종양은 양성 종양이다. 심장 종양은 직접적으로 전기 전도 체계를 침범하여 방실 차단(atrioventricular block) 또는 심실 부정맥과 관련 있는 심장 전도 시스템의 퇴행을 유발시킨다(12). 심장 종양은 원발성과 이차성으로 구별되며 원발성 심장 종양의 75%는 양성 종양이다. 이차성, 전이성 심장 종양의 발생 빈도는 원발성 심장 종양보다 약 100배 높다고 알려져 있다. 심장 MR은 심장 종양을 평가하는데 있어 일차적인 영상의학 도구다. 대부분의 양성 심장 종양은 경계가 좋으며 주변으로의 침윤이 없는 반면 악성 종양의 경우 경계가 불분명하며 주변으로의 침윤을 하고 심근과 넓게 부착하고 있다(Fig. 15) (46). 가장 흔한 원발성 종양은 점액종이며 원발성 종양의 77%를 차지한다. 점액종의 90%가량은 좌심방에서 발생한다(Fig. 16). 점액종에서 발생하는 급성 심장사는 심장 전도 시스템에 종양의 직접적인 침범보다 심장 폐쇄로 인한 급성 혈역학적 방해 또는 관상동맥 색전증에 의해 발생한다(47).

Fig. 15. A 49-year-old male with suspected cardiac hemangioma.

- A.** Contrast-enhanced axial CT image shows a large tumor with low attenuation and scattered patchy and dot-like hyperenhancement in the left ventricle wall (arrowheads).
- B, C.** Short-axis cardiac MR images show large hyperintense tumors on T2 weighted image (**B**, arrows), mixed early contrast filling (arrowheads), and perfusion defect (arrows) on first-pass perfusion image (**C**).
- D, E.** Delayed contrast-enhanced short-axis (**D**) and axial (**E**) cardiac MR images show delayed enhancement with multiple dark signal intensity (arrows) suggestive of an intracavitary blood pool.
- F.** Conventional coronary angiography shows blood supply and tumor blush (arrows) from the left anterior descending coronary artery and left circumflex artery.

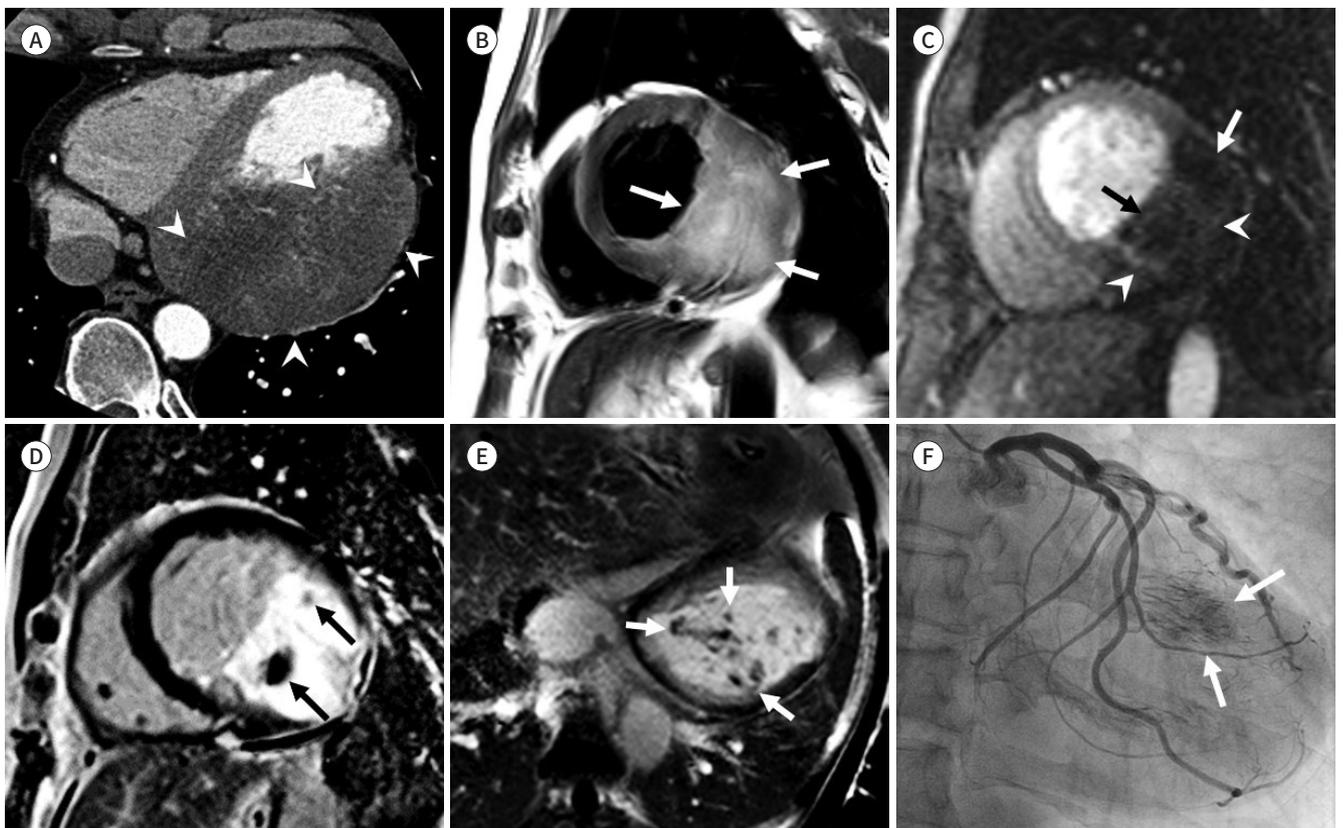


Fig. 16. A 59-year-old male with left atrial myxoma.

- A. Non-contrast electrocardiogram-gated CT image shows a low-attenuation mass (arrow) without fat or calcification in the left atrium.
- B. Contrast-enhanced axial CT image shows a pedunculated tumor attached to the interatrial septum (arrow).
- C. Left atrial myxoma with a stalk on a surgical specimen.



Fig. 17. A 82-year-old male with acute type A aortic dissection.

- A. Initial chest radiograph shows mediastinal widening, enlargement of cardiopericardial silhouette, and left pleural effusion.
- B. Non-contrast CT image after the discontinuation of cardiopulmonary resuscitation shows dissection flap (arrowheads) with hyperattenuating false lumen involving ascending and descending thoracic aorta, pericardial hematoma (short arrows), and left pleural hematoma (long arrows).
- C, D. Contrast-enhanced electrocardiogram-gated thoracic aorta CT images show acute type A aortic dissection (short arrows) with hemopericardium and severe compression of the right pulmonary artery (arrowheads). Aortic hemorrhage extends to the right lung (long arrows) and left hemothorax with compressive atelectasis in the left lower lobe.

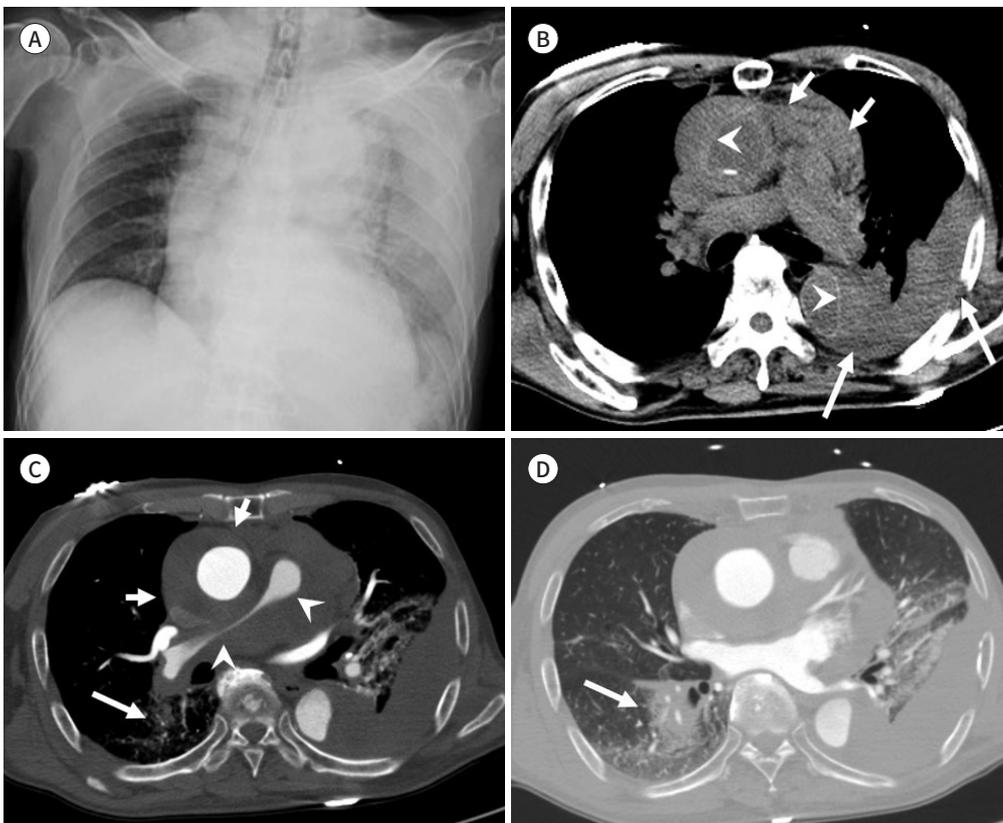


Fig. 18. A 61-year-old male with acute type A aortic dissection and myocardial infarction.

A, B. Four-chamber MPR CT images show Stanford type A aortic dissection with compressed right coronary artery ostium (arrow) due to an intimal flap (**A**). Coronary artery spasm is noted in the left main coronary artery without the involvement of the dissected flap (**B**, arrow).

C, D. Short-axis MPR images of the LV show a subendocardial perfusion defect (arrows) in the mid anterior, anteroseptal, and anterolateral wall of the LV with severe hypokinesia at end-systole (**D**).

E. Curved MPR coronary CT angiography image obtained 3 weeks after replacement of the ascending aorta showing no stenosis in the left main coronary artery (arrow) but insignificant stenosis in the left anterior descending coronary artery ostium (arrowhead).

F. Short-axis MPR image of the LV shows no hypoenhancement in the previous hypoenhanced and hypokinetic LV wall.

LV = left ventricle, MPR = multiplanar reformat

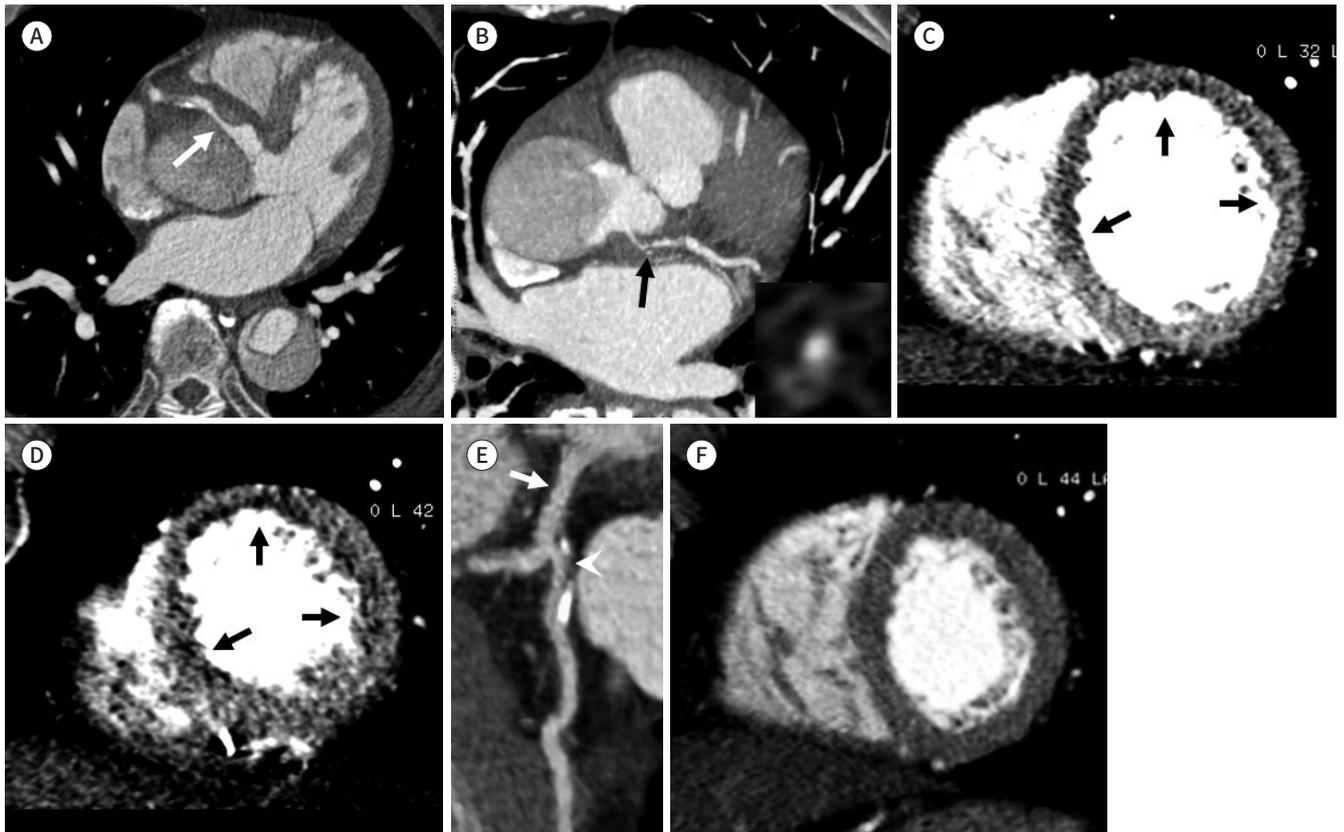


Fig. 19. A 61-year-old male with acute type A aortic dissection and severe aortic valve regurgitation.

A, B. Oblique coronal MPR CT images through the aortic root show Stanford type A aortic dissection with a circumferentially dissected intimal flap (arrows), which is parallel to the aortic wall on systole and is prolapsed into the left ventricle through the aortic valve (arrowheads) during diastole (**B**), causing aortic regurgitation.

C. Double oblique MPR image of the thoracic aorta at systole, shows the circumferential nature of dissection (arrows).

MPR = multiplanar reformat



대동맥박리

대동맥박리는 파열된 대동맥 벽의 내막을 통해 들어간 혈류가 중막을 분리시켜 발생하는 질병이다. 대동맥박리는 급성 심장사 환자의 1/3가량을 차지하는 가장 흔한 응급상황이다. 대동맥박리는 내막 파열의 위치에 따른 Stanford 분류법을 이용해 분류한다. Type A 대동맥박리는 내막 파열의 위치가 상행 대동맥을 침범했을 때로 정의되는 반면 type B 대동맥박리는 왼쪽 쇄골하동맥보다 원위부에서 기시했을 때로 정의된다. Type A의 드문 합병증으로는 이완기에 혈관 내막 피판이 좌심실 유출로 내부로 탈출하는 것이 있다.

대동맥박리로 인한 급성 심장사는 주로 급성 대동맥판 역류, 주요 혈관 분지의 폐쇄, 심낭 압전 또는 대동맥 파열에 의해 발생한다. 치료받지 않은 대동맥박리가 있는 환자에서 대동맥 파열의 위험도는 90%에 도달한다. 이렇게 발생한 파열 중 약 65%는 심낭, 종격동에 발생하여 혈심낭, 혈흉 또는 종격동 혈종을 야기한다(Fig. 17). 또한 주요 혈관 분지의 폐쇄로 인해 뇌경색에서부터 복부 장기의 경색까지 야기할 수 있다(48).

응급 대동맥 CT 촬영은 대동맥과 주요 분지들을 평가하고 치료 계획을 세우는데 필수적이다. 특히 응급 대동맥 CT 촬영은 급성 심장사와 밀접한 관련이 있는 intimal flap과 관상동맥 기시부 폐쇄를 평가하는데 효율적인 영상의학 도구이다(Fig. 18). 혈관 내막 피판 탈출과 대동맥판 역류를 진단하는데 있어서 심초음파가 가장 효율적인 검사도구로 알려져 있지만 심전도 동기 대동맥 CT 역시 혈관 내막 피판의 움직임과 동반된 합병증을 진단하는데 효율적인 영상검사 도구이다(Fig. 19) (12).

결론

급성 심장사는 대부분 심장 부정맥에 의해 발생하지만 이러한 부정맥을 야기할 수 있는 구조적 심질환을 사전에 진단하고 평가하는 것은 장기적 관점에서 중요하다. 따라서 심장 CT와 심장 MR을 통해 구조적 심질환의 영상 소견에 대해 익숙해지는 것은 급성 심장사의 위험이 있는 환자를 식별하는데 도움이 될 수 있으며, 정확한 진단과 예후 예측에 필수적이다.

Author Contributions

Conceptualization, K.S.M., L.J.S., A.J.H.; data curation, K.S.M., L.J.S., K.H.J.; formal analysis, K.S.M., L.J.S., C.S.W., A.J.H.; investigation, K.S.M., L.J.S., K.H.J.; methodology, K.S.M., M.H.J., A.J.H.; project administration, K.S.M.; resources, K.S.M., L.J.S.; supervision, K.S.M., A.J.H.; visualization, L.J.S., K.S.M., K.H.J.; writing—original draft, K.S.M., L.J.S., C.S.W., A.J.H.; and writing—review & editing, K.S.M., M.H.J., K.H.J., C.S.W., A.J.H.

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

Funding

None

REFERENCES

1. Zipes DP, Camm AJ, Borggrefe M, Buxton AE, Chaitman B, Fromer M, et al. ACC/AHA/ESC 2006 Guidelines for

Management of Patients With Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force and the European Society of Cardiology Committee for Practice Guidelines (writing committee to develop Guidelines for Management of Patients With Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death): developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association and the Heart Rhythm Society. *Circulation* 2006;114:e385-484

2. Henneman MM, Schuijff JD, Jukema JW, Holman ER, Lamb HJ, De Roos A, et al. Assessment of global and regional left ventricular function and volumes with 64-slice MSCT: a comparison with 2D echocardiography. *J Nucl Cardiol* 2006;13:480-487
3. Salerno M, Beller GA. Noninvasive assessment of myocardial perfusion. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:412-424
4. Ko SM, Kim YW, Han SW, Seo JB. Early and delayed myocardial enhancement in myocardial infarction using two-phase contrast-enhanced multidetector-row CT. *Korean J Radiol* 2007;8:94-102
5. Wu W, Budovec J, Foley WD. Prospective and retrospective ECG gating for thoracic CT angiography: a comparative study. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193:955-963
6. Aljaroudi WA, Flamm SD, Saliba W, Wilkoff BL, Kwon D. Role of CMR imaging in risk stratification for sudden cardiac death. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013;6:392-406
7. Barkhausen J, Ruehm SG, Goyen M, Buck T, Laub G, Debatin JF. MR evaluation of ventricular function: true fast imaging with steady-state precession versus fast low-angle shot cine MR imaging: feasibility study. *Radiology* 2001;219:264-269
8. Plein S, Kozerke S, Suerder D, Luescher TF, Greenwood JP, Boesiger P, et al. High spatial resolution myocardial perfusion cardiac magnetic resonance for the detection of coronary artery disease. *Eur Heart J* 2008;29:2148-2155
9. Burt JR, Zimmerman SL, Kamel IR, Halushka M, Bluemke DA. Myocardial T1 mapping: techniques and potential applications. *Radiographics* 2014;34:377-395
10. Bello D, Fieno DS, Kim RJ, Pereles FS, Passman R, Song G, et al. Infarct morphology identifies patients with substrate for sustained ventricular tachycardia. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:1104-1108
11. Caussin C, Ohanessian A, Ghostine S, Jacq L, Lancelin B, Dambrin G, et al. Characterization of vulnerable nonstenotic plaque with 16-slice computed tomography compared with intravascular ultrasound. *Am J Cardiol* 2004;94:99-104
12. Kim SS, Ko SM, Choi SI, Choi BH, Stillman AE. Sudden cardiac death from structural heart diseases in adults: imaging findings with cardiovascular computed tomography and magnetic resonance. *Int J Cardiovasc Imaging* 2016;32 Suppl 1:21-43
13. Rocha-Filho JA, Blankstein R, Shturman LD, Bezerra HG, Okada DR, Rogers IS, et al. Incremental value of adenosine-induced stress myocardial perfusion imaging with dual-source CT at cardiac CT angiography. *Radiology* 2010;254:410-419
14. Schuster A, Morton G, Chiribiri A, Perera D, Vanoverschelde JL, Nagel E. Imaging in the management of ischemic cardiomyopathy: special focus on magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:359-370
15. Gunaratnam K, Wong LH, Nasis A, Ellims A, Nandurkar D, Soo G, et al. Review of cardiomyopathy imaging. *Eur J Radiol* 2013;82:1763-1775
16. Felker GM, Shaw LK, O'Connor CM. A standardized definition of ischemic cardiomyopathy for use in clinical research. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:210-218
17. Sparrow PJ, Merchant N, Provost YL, Doyle DJ, Nguyen ET, Paul NS. CT and MR imaging findings in patients with acquired heart disease at risk for sudden cardiac death. *Radiographics* 2009;29:805-823
18. Restrepo CS, Lemos DF, Lemos JA, Velasquez E, Diethelm L, Ovella TA, et al. Imaging findings in cardiac tamponade with emphasis on CT. *Radiographics* 2007;27:1595-1610
19. Tsai IC, Lee WL, Tsao CR, Chang Y, Chen MC, Lee T, et al. Comprehensive evaluation of ischemic heart disease using MDCT. *AJR Am J Roentgenol* 2008;191:64-72
20. Cheitlin MD, De Castro CM, McAllister HA. Sudden death as a complication of anomalous left coronary origin from the anterior sinus of Valsalva, a not-so-minor congenital anomaly. *Circulation* 1974;50:780-787
21. Angelini P. Coronary artery anomalies: an entity in search of an identity. *Circulation* 2007;115:1296-1305
22. Lee HJ, Hong YJ, Kim HY, Lee J, Hur J, Choi BW, et al. Anomalous origin of the right coronary artery from the left coronary sinus with an interarterial course: subtypes and clinical importance. *Radiology* 2012;262:101-108

23. Ito T, Terashima M, Kaneda H, Nasu K, Ehara M, Kinoshita Y, et al. In vivo assessment of ergonovine-induced coronary artery spasm by 64-slice multislice computed tomography. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;5:226-232
24. Kang KM, Choi SI, Chun EJ, Kim JA, Youn TJ, Choi DJ. Coronary vasospastic angina: assessment by multidetector CT coronary angiography. *Korean J Radiol* 2012;13:27-33
25. Gersh BJ, Maron BJ, Bonow RO, Dearani JA, Fifer MA, Link MS, et al. 2011 ACCF/AHA Guideline for the Diagnosis and Treatment of Hypertrophic Cardiomyopathy: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. Developed in collaboration with the American Association for Thoracic Surgery, American Society of Echocardiography, American Society of Nuclear Cardiology, Heart Failure Society of America, Heart Rhythm Society, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol* 2011;58:e212-260
26. Briasoulis A, Mallikethi-Reddy S, Palla M, Alesh I, Afonso L. Myocardial fibrosis on cardiac magnetic resonance and cardiac outcomes in hypertrophic cardiomyopathy: a meta-analysis. *Heart* 2015;101:1406-1411
27. Maron BJ, Maron MS. Hypertrophic cardiomyopathy. *Lancet* 2013;381:242-255
28. Srichai MB, Hecht EM, Kim DC, Jacobs JE. Ventricular diverticula on cardiac CT: more common than previously thought. *AJR Am J Roentgenol* 2007;189:204-208
29. Dec GW, Fuster V. Idiopathic dilated cardiomyopathy. *N Engl J Med* 1994;331:1564-1575
30. Doval HC, Nul DR, Grancelli HO, Varini SD, Soifer S, Corrado G, et al. Nonsustained ventricular tachycardia in severe heart failure. Independent marker of increased mortality due to sudden death. GESICA-GEMA Investigators. *Circulation* 1996;94:3198-3203
31. McCrohon JA, Moon JC, Prasad SK, McKenna WJ, Lorenz CH, Coats AJ, et al. Differentiation of heart failure related to dilated cardiomyopathy and coronary artery disease using gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 2003;108:54-59
32. Kim SS, Ko SM, Song MG. Fat streak in the middle layer of the left ventricular myocardium in a patient with dilated cardiomyopathy: findings of multidetector CT and MR imaging. *Int J Cardiovasc Imaging* 2011;27:745-748
33. Masci PG, Schuurman R, Andrea B, Ripoli A, Coceani M, Chiappino S, et al. Myocardial fibrosis as a key determinant of left ventricular remodeling in idiopathic dilated cardiomyopathy: a contrast-enhanced cardiovascular magnetic study. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:790-799
34. Okura Y, Dec GW, Hare JM, Kodama M, Berry GJ, Tazelaar HD, et al. A clinical and histopathologic comparison of cardiac sarcoidosis and idiopathic giant cell myocarditis. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:322-329
35. Luetkens JA, Doerner J, Thomas DK, Dabir D, Gieseke J, Sprinkart AM, et al. Acute myocarditis: multiparametric cardiac MR imaging. *Radiology* 2014;273:383-392
36. McLellan AJ, McKenzie SC, Taylor AJ. Cardiac magnetic resonance imaging predicts recovery of left ventricular function in acute onset cardiomyopathy. *Heart Lung Circ* 2012;21:30-35
37. Falk RH. Diagnosis and management of the cardiac amyloidoses. *Circulation* 2005;112:2047-2060
38. Syed IS, Glockner JF, Feng D, Araoz PA, Martinez MW, Edwards WD, et al. Role of cardiac magnetic resonance imaging in the detection of cardiac amyloidosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010;3:155-164
39. Jeudy J, Burke AP, White CS, Kramer GB, Frazier AA. Cardiac sarcoidosis: the challenge of radiologic-pathologic correlation: from the radiologic pathology archives. *Radiographics* 2015;35:657-679
40. Tavora F, Cresswell N, Li L, Ripple M, Solomon C, Burke A. Comparison of necropsy findings in patients with sarcoidosis dying suddenly from cardiac sarcoidosis versus dying suddenly from other causes. *Am J Cardiol* 2009;104:571-577
41. Greulich S, Deluigi CC, Gloekler S, Wahl A, Zürn C, Kramer U, et al. CMR imaging predicts death and other adverse events in suspected cardiac sarcoidosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013;6:501-511
42. Ko SM, Song MG, Hwang HK. Bicuspid aortic valve: spectrum of imaging findings at cardiac MDCT and cardiovascular MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2012;198:89-97
43. Lee SP, Lee W, Lee JM, Park EA, Kim HK, Kim YJ, et al. Assessment of diffuse myocardial fibrosis by using MR imaging in asymptomatic patients with aortic stenosis. *Radiology* 2015;274:359-369
44. Rajiah P, Moore A, Saboo S, Goerne H, Ranganath P, MacNamara J, et al. Multimodality imaging of complications of cardiac valve surgeries. *Radiographics* 2019;39:932-956
45. Pham N, Zaitoun H, Mohammed TL, DeLaPena-Almaguer E, Martinez F, Novaro GM, et al. Complications of aortic valve surgery: manifestations at CT and MR imaging. *Radiographics* 2012;32:1873-1892

46. Kim EY, Choe YH, Sung K, Park SW, Kim JH, Ko YH. Multidetector CT and MR imaging of cardiac tumors. *Korean J Radiol* 2009;10:164-175
47. Burke A, Jeudy J Jr, Virmani R. Cardiac tumours: an update: cardiac tumours. *Heart* 2008;94:117-123
48. McMahon MA, Squirrell CA. Multidetector CT of aortic dissection: a pictorial review. *Radiographics* 2010; 30:445-460

급성 심장사와 관련된 구조적 심질환의 전산화단층촬영과 자기공명영상 소견

이종선 · 고성민* · 문희정 · 안지현 · 김현중 · 차승환

급성 심장사는 증상이 시작된 후 한 시간 이내에 발생하는 심장 원인으로 인한 사망이다. 급성 심장사의 원인은 주로 부정맥이지만 동반할 수 있는 기저 심질환들을 사전에 진단하는 것은 장기적 위험을 예측하는 데 중요하다. 심장 CT와 심장 MR은 구조적 심질환을 진단하고 평가하는데 중요한 정보를 제공하여 급성 심장사의 위험을 예측하고 대비할 수 있게 한다. 따라서 임상적으로 중요한 급성 심장사의 위험을 증가시키는 다양한 원인과 영상 소견의 중요성에 대하여 중점적으로 살펴보고자 한다.

연세대학교 원주의과대학 원주세브란스기독병원 영상의학과