

2014 Korean Guidelines for Appropriate Utilization of Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging: A Joint Report of the Korean Society of Cardiology and the Korean Society of Radiology¹

심혈관 자기공명영상 사용에 대한 2014 권고안: 대한심장학회와 대한영상의학회 공동 보고서¹

Yeonyee E. Yoon, MD^{1*}, Yoo Jin Hong, MD^{2*}, Hyung-Kwan Kim, MD³, Jeong A Kim, MD⁴, Jin Oh Na, MD⁵, Dong Hyun Yang, MD⁶, Young Jin Kim, MD², Eui-Young Choi, MD⁷

¹Department of Cardiology, Cardiovascular Center, Seoul National University Bundang Hospital, Seoul, Korea; ²Department of Radiology, Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea; ³Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Cardiovascular Center, Seoul National University College of Medicine, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea; ⁴Department of Radiology, Ilsan Paik Hospital, Inje University College of Medicine, Goyang, Korea; ⁵Cardiovascular Center, Korea University Guro Hospital, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea; ⁶Department of Radiology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul, Korea; ⁷Division of Cardiology, Gangnam Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

The use of cardiac magnetic resonance (CMR) imaging is increasing for the assessment of certain cardiovascular diseases, due to recent technical developments. CMR can give physicians information that cannot be found with other imaging modalities. However, there has been no guideline for the use of CMR in Korean people. Therefore, we have prepared a Korean guideline for the appropriate utilization of CMR to guide Korean physicians, imaging specialists, medical associates, and patients to improve the overall performances in medical system. By addressing CMR usage and creating these guidelines, we hope to contribute to the promotion of public health. This guideline is a joint report of the Korean Society of Cardiology and the Korean Society of Radiology.

Index terms

Guideline
Appropriateness Criteria
Cardiac Magnetic Resonance Imaging
Cardiovascular Disease

Received September 10, 2014; Accepted January 28, 2015

Corresponding author: Young Jin Kim, MD
Department of Radiology, Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, 50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea.
Tel. 82-2-2228-7400 Fax. 82-2-393-3035
E-mail: dryj@yuhs.ac and Eui-Young Choi, MD
Division of Cardiology, Gangnam Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, 211 Eonju-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-720, Korea.
Tel. 82-2-2019-3310 Fax. 82-2-2019-2314
E-mail: choi0928@yuhs.ac

*Two authors equally contributed.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This work was financially supported by Korean Society of Radiology, Korean Society of Cardiovascular Imaging, Korean Society of Cardiology.

This article is a Korean version (translation) of an article that has been published in the *Korean Journal of Radiology* and *Korean Circulation Journal*. Refer to the following articles.

Yoon YE, Hong YJ, Kim HK, Kim JA, Na JO, Yang DH, Kim YJ, Choi EY. 2014 Korean guidelines for appropriate utilization of cardiovascular magnetic resonance imaging: a joint report of the Korean Society of Cardiology and the Korean Society of Radiology. *Korean J Radiol*. 2014 Nov-Dec; 15(6):659-88.

Yoon YE, Hong YJ, Kim HK, Kim JA, Na JO, Yang DH, Kim YJ, Choi EY. 2014 Korean guidelines for appropriate utilization of cardiovascular magnetic resonance imaging: a joint report of the Korean Society of Cardiology and the Korean Society of Radiology. *Korean Circ J*. 2014 Nov;44(6):359-85.

서론

자기공명영상(magnetic resonance imaging; 이하 MRI)은 최근의 기술적 발전에 힘입어 심혈관 질환에서의 사용이 꾸준히 증가하고 있다. 심장질환의 진단 및 치료에 있어 다양한 영상검사 방법인 심장초음파검사(echocardiography), 심장 컴퓨터단층촬영(cardiac computed tomography; 이하 CT), 심혈관 자기공명영상(cardiac magnetic resonance imaging; 이하 CMR) 또는 핵의학 영상(nuclear imaging)이 이용되고 있으며 이러한 다양한 검사 방법들은 각각의 고유한 장점을 가지고 있어 이를 적절하게 선택하여 활용하는 것이 매우 중요하다. 미국에서는 2006년에 여러 유관학회들이 공동으로 심장 CT와 CMR의 적절한 사용에 관한 지침을 발표한 바 있다(1). 국내에서는 2006년 발표된 허혈성심질환 표준진료지침 내에 비관혈적 진단법에 대한 권고안이 포함되어 있으나 심장 CT 및 CMR 사용에 대한 부분은 누락되어 있다. 심장 CT 사용에 대한 권고안은 2012년 근거창출임상연구국가사업단의 지원사업으로 2013년에 발표된 바 있다. 그러나 지금까지 CMR의 적절한 사용에 대한 진료지침이 없는 형편이다.

이 권고안은 다양한 심장질환에서 CMR의 적절한 사용을 위하여 근거에 기반한 우리나라 실정에 맞는 권고안을 마련함으로써 CMR을 이용하는 의사와 환자에게 도움을 주어 국민건강 증진에 이바지 하고자 개발되었다.

권고안 개발방법

본 권고안은 대한영상의학회(Korean Society of Radiology)와 대한심장학회(Korean Society of Cardiology)가 공동으로 개발하였다. 기존의 권고안을 바탕으로 수용개발방법으로 개발하기로 하였으며, 2011년 11월 보건복지부에서 발간한 [한국형 임상진료지침 수용개작 매뉴얼]에 기초하여 개발하였다. 개발방법에 대해 대한의학회 임상진료지침 실행위원회의 자문을 받았고, 문헌검색 전문가가 개발에 참여하였다.

집필위원회는 대한심장학회의 심장혈관영상연구회에서 선임한 4명과 대한영상의학회의 대한심장혈관영상의학회에서 선임한 4명으로 구성하였다. 권고안의 도출과 채택을 위한 합의방법으로는 델파이(Delphi) 기법을 활용하였다. 델파이 합의과정을 위한 평가위원회(rating committee)는 대한심장학회와 대한영상의학회에서 선임한 20명의 패널위원들로 구성하였다. 수용개작을 위해 선정한 기존의 권고안과 근거문헌을 종합하여 작성한 권고안 초안을 바탕으로 질문지를 만든 후, 평가위원회 패널들을 대상으로 3회의 델파이 합의과정을 거쳐 합의된

결과로 권고안을 채택하였다.

수용개발을 위해 기존의 CMR 사용과 관련된 권고안을 검색하였으며 검색자료원 중 PubMed (www.pubmed.gov)에서는 54건의 자료를 검토하였고, Cochrane Library (www.interscience.wiley.com)에서는 40건의 자료를 검토하였으며, Embase (www.embase.com)에서 55건의 자료를 검토하였다. 또한 국가별 검색 자료원 중 미국의 National Guideline Clearing House (<http://www.guideline.gov/>)에서 51건의 자료를 검토하였고, 영국의 SIGN (<http://www.sign.ac.uk/guidelines/index.html>)과 NICE (<http://www.nice.org.uk/>)에서는 주제별 혹은 형식별 검색을 통해 각각 5건과 6건의 자료를 검토하였다. 출판일자의 범위를 2000년부터 2013년까지로 정하였고, 영어로 표기된 권고안만을 선택하였으며 개정판이 있는 경우 최신판을 선정하였다. 이 가운데 전반적인 질환의 치료와 관계되어 CMR의 이용에 대한 내용을 세부적인 항목으로 다루고 있지 않은 지침은 제외하였고, 근거에 기반하지 않고 전문가 합의에 의한 지침(expert consensus)을 제외하여 최종적으로 수용개발의 대상으로 6건의 권고안을 선정하였다(1-7).

수용개발의 대상으로 선정된 권고안의 질 평가를 위하여 대한의학회 임상진료지침 전문위원회에서 Appraisal of Guideline for Research & Evaluation (이하 AGREE) 2.0의 한국형 버전으로 개발한 K-AGREE 평가척도에 근거하여 평가를 실시하였다. 검색된 6개 권고안에 대하여 집필위원회 중 4인이 평가하였고, 3점 이상 차이가 난 항목에 대하여 재평가를 실시하였다. 영역별 표준화 점수를 산출하고 각 영역의 점수를 비교하여 최종적으로 평가영역 3인 개발의 엄격성 표준화 점수가 50% 이상인 3개의 지침을 선정하였다(2, 3, 5). 그러나 이 3개의 지침은 특정 질환의 진단 및 치료에 대한 진료지침으로서 CMR의 이용에 대한 내용이 해당 질환에만 국한되어 기술되어 있어, CMR의 적응증을 다룬 3개의 지침 중 개발의 엄격성 표준화 점수가 높은 2개의 지침을 추가로 선정하였다(1, 4). K-AGREE 도구를 사용한 가이드라인 평가결과, 표 및 권고안 매트릭스 표는 Supplement (in the online-only Data Supplement)에 표기하였다. 수용개발을 위해 선정된 5개의 진료지침 중 근거수준을 제시하지 않은 진료지침이 있고, 진료지침의 발표 이후에 발표된 연구결과에 의해 근거수준이 달라질 수 있음을 고려하여 각 문항에 대해 추가 문헌검색을 시행하였다. 근거의 검색은 PubMed (www.pubmed.gov)와 Embase (www.embase.com)를 사용하였고, 2000~2012년 사이에 인체를 대상으로 하고 영어로 출간된 논문 중 각각의 문항에 적합한 검색식을 만들어 근거를 검색하고 내용을 검토하여 각각의 문항과 관련 있는 근거문헌을 선정하였다. 최근에 출간된 체계적 고

찰이나 메타분석이 있는 경우에는 그 이전에 출간된 낮은 근거 수준의 문헌은 배제하였고 증례보고 등도 배제하였다. 문항별 검색식은 Supplement (in the online-only Data Supplement)에 표기하였다.

근거수준은 2011년도에 Oxford Centre for Evidence-Based Medicine에서 발표한 근거수준의 기준 중 진단 및 예후평가 분야에서의 근거수준 평가기준을 참고로 하여 세 단계로 정의하였다. A, B, 또는 C로 표기된 근거 수준은 각 권고사항마다 제시되어 있다(Tables 1, 2).

권고등급은 2010년 미국심장관련학회에서 발표한 심장 CT 이용 권고안에서 사용한 수준을 도입하여 적절, 불명확, 부적절의 세 단계로 정의하였다(Table 3). 권고안 내에서는 '적절하다(적절), 고려할 수 있다(불명확), 부적절하다(부적절)'로 표기하였다(8).

권고안 초안을 바탕으로 한 질문지는 4개의 영역에 총 52개의 문항이었다. 설문은 총 3회 실시하였고, 각 문항에 대한 CMR의 사용이 적절한가에 대한 응답척도를 1~3점은 부적절, 4~6점은 불명확, 7~9점은 적절 영역으로 정의하였고 각 영역에 응답자가 70% 이상이면 합의가 된 것으로 정의하였다. 델파이 합의를 위한 조사표에는 각 문항에 대한 타 권고안들의 권고등급, 검색한 근거문헌에 기초한 근거수준, 응답척도(9점 척도), 기타 의견 제시를 위한 공간, 그리고 각 문항에 대한 근거 문헌 목록으로 구성하였다. 다음 라운드에서는 합의에 이르지 못한 문항에 대해 전체 응답자 점수의 중앙값과 질문지를 받는 사람이 이전 라운드에서 응답했던 점수를 표시하였고 이전 라운드에서 합의된 문항의 응답률을 가리고 질문지를 제작하였다. 이전 라운드에서 합의에 실패한 문항에 대한 수정은 하지 않았고 응답자들이 제시한 기타 의견은 없었다. 총 52개의 문항 중 1차 설문에서 47개, 2차 설문에서 4개, 그리고 3차 설문에서 나머지 1개의 문항에 대한 합의가 이루어졌다. 각 라운드의 응답률은 모두 100%였다. 델파이 투표 결과는 Supplement (in the online-only Data Supplement)에 표기하였다.

대한의학회 임상진료지침 실행위원회 1인, 대한심장학회, 대한소아심장학회와 대한영상의학회에서 각각 3인으로 구성된 총 10인의 위원들이 합의에 의해 채택된 권고안을 검토하였고,

그 후 외부공청회를 시행하였다.

본 권고안은 대한심장학회와 대한영상의학회의 연구비 지원으로 개발되었다. 권고안 집필위원회/델파이 합의를 위한 기술위원회/합의에 의해 채택된 권고안의 검증을 위한 검토위원회는 각각 독립적으로 활동하였으며, 연구비를 지원한 학회는 권고안의 개발에 영향을 주지 않았다. 진료지침 개발에 참여한 모든 구성원들의 잠재적인 이해상충 관계유무를 확인하기 위하여 지난 2년 동안 지침개발 내용과 관련된 주제로 1000만 원 이상의 후원을 받거나, 사례금을 받고 자문을 한 경우, 특정기관 혹은 제약회사의 지분이익이나 스톡옵션과 같이 경제적 이익에 대한 권리를 제공받는 경우, 그리고 특정기관 혹은 제약회사에서 공식/비공식적인 직함을 가지고 있는지의 여부를 자기기입식 조사표를 통해 조사하였으며 개발에 참여한 모든 구성원들은 상충되는 혹은 잠재적인 이해관계가 없었다.

이 권고안은 MRI 기술의 발전, 의료환경의 변화, 그리고 CMR과 관련된 근거의 축적에 따라 3~5년 주기로 수정되어야 한다.

Table 1. Definition of Levels of Evidence

Level of Evidence	Definition
A	Level 1 study, two or more Level 2 studies
B	One Level 2 study, two or more Level 3 studies
C	One Level 3 study, Level 4 or 5 study

Table 2. Definition of Level of Study

Level of Study	Definition
1	Systematic review, meta-analysis
2	Individual cross sectional studies with consistently applied reference standard and blinding/inception cohort studies
3	Non-consecutive studies, or studies without consistently applied reference standards/cohort study or control arm of randomized trial
4	Case-control studies, or poor or non-independent reference standard/case-series or case-control studies, or poor quality prognostic cohort study
5	Mechanism-based reasoning

Table 3. Definition of Appropriateness Criteria

Appropriateness Criteria (Score)	Definition
A-Appropriate (7-9)	Test is generally acceptable and a reasonable approach for the listed indication
U-Uncertain (4-6)	Test may be generally acceptable and may be a reasonable approach for the indication. Uncertainty also implies that more patient evaluation or patient information is needed to classify the indication definitively
I-Inappropriate (1-3)	Test is not generally acceptable and is not a reasonable approach for the indication

본문

관상동맥질환의 평가를 위한 CMR

흉통 증후군의 평가

관상동맥질환을 평가하기 위해 CMR은 다양한 방법을 이용한다. MR 관상동맥조영술(coronary MR angiography)을 이용하여 관상동맥 자체를 확인하는 방법과 관상동맥질환에 의한 심근허혈을 확인하는 부하 CMR 기법이 있다. 부하 CMR 영상은 1) 약물부하에 의해 심근허혈이 유발되어 관류결함이 나타나는 것을 평가하는 일차통과 관류영상(dynamic first-pass perfusion imaging)과 2) 약물부하에 의해 국소심근운동장애나 심근수축 저하가 유발되는 것을 평가하는 두 가지 다른 기법으로 수행할 수 있다.

심근 관류 영상(Myocardial Perfusion Imaging)

CMR 관류영상은 가돌리늄 조영제가 심장을 일차 통과하는 것을 T1 강조 시퀀스(sequence)를 이용하여 평가하는 방법이다. 혈관확장약물로 부하를 준 상태와 주지 않은 상태에서 심근이 조영제강 되는 정도의 차이를 평가하는데 정량적, 반정량적, 또는 정성적 방법으로 분석할 수 있다. 통상적으로 정상 관류구획에 비해 상대적으로 어둡게 나타나는 저관류 부위를 확인하는 정성적 방법을 사용하며, 심근신호증가의 상승하는 경사도(upslope)를 측정함으로써 반정량적 분석이 가능하다(9). 좌심실 내강의 신호를 동맥주입함수(arterial input function)를 이용한 한 디컨볼루션(deconvolution) 분석을 통해 정량적으로 심근관류 지표(myocardial perfusion index)와 심근관류예비력(myocardial perfusion reserve)을 구할 수 있다(10).

인체를 대상으로 CMR 관류영상은 조영제, 분석방법, 참고 표준을 달리한 많은 임상시험을 통해 검증되었다(11-15). 메타분석 연구에 따르면 CMR 관류영상이 관상동맥조영술과 비교하여 직경의 50% 이상 협착증이 있는 관상동맥질환을 91%의 민감도와 81%의 특이도로 진단할 수 있다고 하였다(16). Magnetic Resonance Imaging for Myocardial Perfusion Assessment in Coronary Artery Disease Trial (이하 MR-IMPACT) 연구에서는 환자 241명을 대상으로 CMR 관류 영상과 심근관류스캔(single photon emission computed tomography; 이하 SPECT)의 진단능을 비교하였는데, 두 검사가 전반적으로 유사한 진단 정확도를 보인다고 보고하였다(14). 이후 더 큰 규모의 다기관 임상연구인 MR-IMPACT II에서는 환자 533명을 대상으로 CMR과 SPECT를 비교하여 CMR 관류영상이 더 높은 민감도(75% vs. 52%)와 더 낮은 특이도(59% vs. 72%)를 보인다는

결과를 보고하였다(15). 두 영상 방법에 대한 receiver operator characteristics 분석결과 곡선하면적(area under the curve)으로 진단능을 산출하였을 때 CMR 관류영상이 SPECT에 비해 더 우월한 것으로 나타났다(17). 그러나 MR-IMPACT II 연구에서는 MR-IMPACT I 연구에 비해 CMR 관류영상의 민감도와 특이도가 조금 낮은 경향을 보였다(민감도, 75% vs. 85%; 특이도, 59% vs. 67%). 이는 MR-IMPACT II 연구가 더 많은 기관이 참여한 것과 관련이 있거나 경험이 적은 연구기관들이 데이터 베이스에 더 많이 기여함으로써 발생한 것일 수도 있다. 현재 CMR 관류영상은 관상동맥질환에서 관류 결함을 검출하는 데 있어서 SPECT를 대체할 수 있는 방법으로 여겨지고 있다. 하지만, 적절한 부하검사를 할 수 있는 의료진의 훈련이 필요하다.

심실기능의 부하영상검사(Stress Imaging of Ventricular Function)

운동 및 약물 부하를 이용한 CMR은 심근허혈의 진단에 있어 핵의학검사 및 심장초음파와 유사한 정확도를 보인다(18-23). 부하 CMR 연구들에 대한 메타분석 결과에서 관상동맥조영술과 비교하였을 때 부하 CMR이 83%의 민감도와 86%의 특이도로 직경 50% 이상 협착증이 있는 관상동맥질환을 진단할 수 있다고 하였다(16). 물리적인 운동은 자기공명영상촬영을 위해 환자가 들어가게 되는 원통형 마그넷 보어(magnet bore) 내에서 실시하기 어렵고, 움직임에 따른 인공음영이 빈번하게 발생할 수 있어서 약물 부하가 더 일반적으로 이용되고 있다. 도부타민(dobutamine)이나 아트로핀(atropine)이 유도심장벽운동장애(inducible wall motion abnormality) 평가에 가장 일반적으로 사용되는 부하유도 약물이다. CMR에서는 도부타민 부하 심장초음파검사와 유사한 형태로 도부타민의 용량이 증가됨에 따라 부하가 주어지기 전과 부하가 주어지는 동안 좌심실의 국소심장벽운동의 변화를 평가하는 방법을 사용하며 주로 항정상태자유세차(steady state free precession; 이하 SSFP) 기법을 사용한 영화(cine) 영상이 이용되고 있다. 도부타민 부하 CMR은 좌심실 심근내막과 내강의 대조도가 매우 좋아 허혈에 의한 운동이상을 검출하는 데에 높은 정확도를 보인다(18). 따라서, 도부타민 CMR은 도부타민 심장초음파에 적절하지 않은 환자들에게 유용하다. 도부타민 부하 CMR에서 관찰되는 심각한 합병증(예, 지속적인 심실성빈맥) 발생빈도는 피험자들 중 0.1% 미만으로, 이는 도부타민 부하 심장초음파에서 관찰되는 것과 유사한 수준이다(24).

Cine 영상뿐 아니라 다른 CMR 시퀀스들도 도부타민 부하 CMR에 이용될 수 있는데 심근표지기법(myocardial tagging MRI)을 이용하면 관상동맥질환 진단의 민감도를 조금 더 증가시킬 수 있는 것으로 보고되었다(25). Strain-encoded CMR을 이

용한 strain 정량화는 중등도의 유도성 허혈을 더 조기에 진단할 수 있다고 보고되기도 하였다(26). 실시간 CMR (real-time CMR)은 숨을 참을 수 없는 환자에서도 심장벽 운동 관찰에 활용될 수 있다(27). 그러나 이런 영상검사 기법들의 임상적 역할을 규명하기 위해서는 추가 연구가 필요하다.

MR 관상동맥조영술

MR 관상동맥조영술은 다른 혈관들을 대상으로 한 MR 혈관조영술에 비해 기술적으로 더욱 어렵다. 그 이유는 관상동맥이 혈관내경이 작고, 주행이 구불구불하며, 심주기 동안 복합적으로 움직이고, 인접한 심외막 지방 및 심근으로부터 유래한 주변 신호가 크기 때문이다. 이런 문제들을 극복하기 위해 여러 기법이 이용되고 있는데, 우선 심장의 내인성 움직임을 극복하기 위해 심전도 유발기법(electrocardiogram triggering)(예: 벡터심전도)을 사용한다. 호흡운동에 의한 인공음영을 최소화하기 위해서는 호흡정지방법을 이용할 수도 있지만 MR 관상동맥조영술에 적용하기에는 한계가 있어 호흡동기화(respiratory gating) 방법을 사용하며, 주로 네비게이터 에코기법(navigator echo method)을 이용하여 자유호흡상태에서 영상을 얻는 방법을 사용한다. 조영제를 사용하지 않고 혈액신호가 밝게 나타나는 분절 경사 에코(segmented gradient echo)와 SSFP 시퀀스가 일반적으로 이용되고 있으며, 지방포화기법이나 T2 준비펄스 등의 예비펄스를 적용하여 관상동맥혈류의 대조잡음비(contrast to noise ratio)를 증가시킬 수 있다. 주요 관상동맥의 축에 맞추어 여러 번의 영상을 얻었던 표적 용적(target-volume) 접근법이 최근에는 심장 CT와 유사하게 단일 축 three-dimensional (이하 3D) 획득으로 모든 주요 관상동맥들을 가시화할 수 있는 전심장(whole heart) MR 관상동맥조영술기법으로 대체되고 있다.

그동안 여러 연구를 통해 MR 관상동맥조영술의 관상동맥질환 진단에 대한 유용성이 보고되었다(28-33). 한 전향적 다기관 연구에서는 자유 호흡, 3D 표적용적 기법을 이용한 MR 관상동맥조영술이 매우 높은 민감도(100%), 매우 높은 음성 예측도(100%), 중등도로 높은 특이도(85%)로 좌주간관상동맥 병변과 다중혈관 관상동맥질환을 진단할 수 있다고 보고하였다(30). 최근의 한 전향적 다기관 연구에서는, SSFP 전심장 MR 관상동맥조영술이 높은 민감도(88%)와 높은 음성 예측값(88%)과 함께 중등도의 특이도(72%)로 의미있는 관상동맥협착을 진단할 수 있음을 보고하였다(29).

MR 관상동맥조영술은 공간해상도가 낮고 촬영시간이 길어서 관상동맥질환 진단에 임상적으로 활용하는 것에는 한계가 있었다. 그러나 영상 하드웨어 및 기법의 발전으로 32채널 심장

코일이 도입되어 병렬영상 가속인자를 사용할 수 있게 되면서, MR 관상동맥조영술의 검사 시간도 10분 이내로 크게 단축되었다(34). 또한 3-T MRI를 이용하면 1.5-T에 비해 신호 강도와 대조도가 높아질 뿐 아니라 관상동맥질환 진단능도 향상시킬 수 있다(33, 34). 최근 32채널 심장코일을 이용한 3-T MR 관상동맥조영술과 64 절편 CT를 비교한 연구에서는 두 영상 기법이 유사한 진단적 정확도를 보이는 것으로 확인되었다(28). 그러나 현재까지, MR 관상동맥조영술을 관상동맥질환 평가에 임상적으로 활용하는 것과 관련된 연구결과는 고식적인 관상동맥조영술을 위해 의뢰된 고위험 환자군만을 대상으로 한 연구였으며, 소수의 고도로 전문화된 기관에서 얻어진 결과라는 점이 한계점이다.

예후 평가를 위한 CMR

혈관확장제 및 도부타민 부하 CMR 기법을 이용하여 예후를 평가하는 것과 관련하여 여러 연구가 보고되어 있다(35-38). 최근 한 메타분석 연구에서는, 부하 CMR에서 양성소견이었던 환자에서 심혈관 사망 및 심근경색의 연간 발생률이 4.9%, 음성이었던 환자에서는 0.8%인 것으로 나타났다(38). 또 다른 메타분석에서는 부하 CMR에서 음성인 경우 심장사망과 심근경색에 대하여 98%라는 높은 음성예측도를 보였으며, 관상동맥질환이 알려져 있거나 의심되는 저위험군 환자를 유사한 수준으로 구분할 수 있는 것으로 나타났다(35). 관상동맥질환이 알려져 있거나 의심되는 환자들에서 부하 CMR은 우수한 예측도를 보이므로 위험도를 구분하는 데에 도움이 될 수 있지만 지금까지 MR 관상동맥조영술의 예후 예측도에 대한 자료는 제한적이다. 최근 한 연구에서 관상동맥질환이 의심되는 207명을 대상으로 시행한 MR 관상동맥조영술 결과가 정상이었던 경우 심장사건 발생률이 매우 낮았고, 유의한 협착증이 확인된 경우는 심장사건의 위험도가 높았다는 보고가 있다(39).

[권고 사항]

흉통 증후군 평가를 위한 CMR의 이용

CMR의 프로토콜은 혈관확장제를 이용한 CMR 관류영상, 도부타민 부하 CMR, MR 관상동맥조영술을 포함할 수 있다.

- ① 관상동맥질환의 위험도가 저위험도인 환자에서 심전도가 판독가능하고 운동을 할 수 있는 경우 CMR의 사용은 부적절하다(권고등급 I, 근거수준 A).
- ② 관상동맥질환의 위험도가 중등도인 환자에서 심전도가 판독가능하고 운동을 할 수 있는 경우 CMR의 시행을

고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 A).

- ③ 관상동맥질환의 위험도가 중등도인 환자에서 심전도가 판독 불가능하거나 운동을 할 수 없는 경우 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ④ 관상동맥질환의 위험도가 고위험도인 환자에서 CMR의 시행을 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 A).

관상동맥 기형의 평가

관상동맥 기형은 매우 다양한 증후와 병태생리학적 기전을 보이는 선천성 질환이다. 관상동맥 기형의 대부분은 혈류역학적으로 의미 있는 이상을 보이지 않으나, 관상동맥이 반대측 대동맥동으로부터 기시하여 대동맥과 폐동맥 사이로 지나가는 기형은 젊은 나이에 심근허혈 및 갑작스런 심장사망의 요인으로 잘 알려져 있다(40). 관상동맥 기형을 확인하는 데에는 침습적 혈관조영술이 사용되어 왔지만 이는 2차원적 영상을 제공할 뿐 아니라 기형 혈관의 복잡한 3차원적 경로, 특히 대동맥이나 폐동맥과의 관계에 대해 평가하는 데 어려움이 있다. 또한, 침습적 혈관조영술에서 관상동맥 입구로 도관을 잘 진입시키지 못한 경우 정확한 진단이 어려운 경우가 있다. 관상동맥 CT와 MR 관상동맥조영술은 침습적 관상동맥조영술에 비교하여 비침습적이면서 3D 영상을 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다. MR 관상동맥조영술은 침습적 관상동맥조영술과 관상동맥 CT에 비해 관상동맥 기형 진단에 여러 가지 유의한 장점을 가지고 있다. MR 관상동맥조영술에서는 환자가 방사선에 노출되지 않으며 조영제를 투여하지 않고도 수행할 수 있어서, 관상동맥 기형이 의심되는 청소년 및 젊은 환자들에게 중요하게 고려되는 영상방법이다. 여러가지 기법의 MR 관상동맥조영술[예: two-dimensional (이하 2D) 호흡정지기법, 표적 3D 기법, 자유호흡 전심장 MR 관상동맥조영술 기법 등]이 관상동맥 기형의 진단에 우수한 결과를 보이는 것으로 보고되어 왔으며 관상동맥 기형 평가에 있어서 한 번에 3D 전심장 MR 관상동맥조영술을 얻는 것이 2D 기법에 비해 상대적으로 좋은 방법으로 여겨진다(41-46).

[권고 사항]

관상동맥 기형에서 MR 관상동맥조영술의 이용

- ① 관상동맥 기형이 의심되는 경우 MR 관상동맥조영술의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 B).

급성 흉통

응급실에서 CMR을 사용할 경우 환자를 더 신속하고 종합적으로 평가할 가능성이 있다. CMR 영상이 가진 고유한 장점은 한 번의 검사에서 심장기능, 심근관류, 심근경색에 관한 정보를 얻을 수 있다는 것이다. 그러나 현재까지 급성 흉통 환자군에 대한 CMR 연구 결과는 매우 부족한 실정이다. 한 연구 결과에 따르면, 좌심실 기능, 아데노신 부하 관류, 지연기 가돌리늄 조영증강(late gadolinium enhancement; 이하 LGE) 영상을 함께 적용함으로써, CMR은 민감도 96%, 특이도 83%로 비-ST 분절 상승 심근경색 환자 68명에서 유의한 협착을 진단할 수 있었다고 한다(47). 161명의 급성 흉통 환자를 대상으로 CMR을 이용한 좌심실 기능, 안정기 관류영상, LGE 영상을 시행한 연구에서는 CMR이 의미 있는 관상동맥질환의 진단에 민감도 84%, 특이도 85%를 보였다고 한다(48). 62명을 대상으로 한 작은 규모의 연구에서는, 심근 부종을 확인하기 위한 목적으로 T2-강조 시퀀스를 추가함으로써 급성 관동맥 증후군 진단에 대한 특이도가 96%, 양성예측도가 85%로 향상되었음을 보고하였다(49). CMR을 이용하여 급성 관동맥 증후군의 가능성이 있는 중등도 위험군 환자들을 관리할 경우 지표관리를 위한 방문(index visit) 및 퇴원 후 첫 1년간 후속 방문시의료를 감소시킬 수 있다는 보고도 있다(50). 퇴원 후에도 비용이 감소되는 것은 관상동맥 혈관재개통술의 빈도가 더 낮고, 재입원율이 낮으며, 재검사율이 낮은 것과 관련이 되는 것으로 여겨지고 있다(51). 그러나 CMR의 진단적 정확도와 관련하여, 이 분야의 연구는 적은 수의 환자들을 대상으로 경험적 관찰에서 확인된 결과를 기술하는 수준의 예비적인 단일기관 보고들에 그치고 있어서 이 결과들을 뒷받침할 수 있는 더 큰 규모의 다기관 연구들이 추가로 진행되어야 할 것이다.

[권고 사항]

급성 흉통의 평가에서 CMR의 이용

CMR의 프로토콜은 혈관확장제를 이용한 심근 관류 MRI 혹은 도부타민 부하 CMR을 포함할 수 있다.

- ① 관상동맥질환의 위험도가 저위험도인 환자에서 심전도의 변화가 없고, 연속적인 심장효소의 검사가 음성인 경우 CMR의 시행을 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 A).
- ② 관상동맥질환의 위험도가 중등도인 환자에서 심전도의 변화가 없고, 연속적인 심장효소의 검사가 음성인 경우 CMR의 시행을 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 A).

A).

- ③ 관상동맥질환의 위험도가 고위험도인 환자에서 심전도의 변화가 없고, 연속적인 심장효소의 검사가 음성인 경우 CMR의 시행을 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 A).
- ④ 관상동맥질환의 위험도가 고위험도인 환자에서 심전도의 ST 분절 상승이 있거나 심장효소검사가 양성인 경우 CMR의 사용은 부적절하다(권고등급 I, 근거수준 A).

이전 검사결과가 있는 환자에서 CMR을 이용한 관상동맥질환 진단

관상동맥질환 환자의 치료에서 혈관재개통술을 시행할 것인지 약물치료를 시행할 것인지 적절한 치료 방향을 결정하는 것이 매우 중요하므로, 혈관재개통술을 시행하기 이전에 비침습적인 검사로 허혈의 증거를 확보하는 것이 중요하다(52-54). 그러나 고식적 혈관조영술 또는 관상동맥 CT로 평가된 관상동맥협착의 정도는 분획혈류예비력(fractional flow reserve; 이하 FFR)으로 평가한 관상동맥협착의 기능적 유의성과 일치하지 않는다(55). 이는 Fractional Flow Reserve vs. Angiography for Multivessel Evaluation (FAME) 연구에서 다중혈관 질환에 대해 FFR 측정결과를 이용하여 관상동맥중재술을 한 경우 임상 결과가 향상된 것을 입증함으로써 더욱 부각되었다(56, 57). 이 결과들은 관상동맥재개통술을 시행하는 데에 있어 해부학적 평가에 추가하여 비침습적인 검사를 이용하여 기능적인 유의성을 평가하는 것이 임상적으로 타당함을 뒷받침하고 있다.

혈관확장제 또는 도부타민 부하를 이용한 부하 CMR은 유의한 관상동맥질환 검출에 높은 진단적 정확도를 보여왔다(12, 14-16, 58). 여러 연구들이 부하 CMR 관류 영상을 침습적 표준검사법인 FFR과 비교하였을 때 부하 CMR 관류 영상과 FFR이 좋은 상관관계를 보인다는 것을 입증하였다(59-62). 한 단일기관 연구에서 협심증이 의심되는 환자 103명을 대상으로 부하 CMR 관류 영상과 침습적 관상동맥조영술을 실시하고 모든 주요 관상동맥에서 FFR을 측정하였는데, FFR 0.75 미만으로 정의된 기능적으로 유의한 관상동맥질환을 부하 CMR 관류 영상이 우수한 민감도(91%), 특이도(94%), 양성 및 음성 예측도(각각 91%와 94%)로 진단할 수 있음을 보고하였다(62). 최근의 한 연구에서는, 부하 CMR 관류 영상을 관상동맥 CT에 추가함으로써 침습적 관상동맥조영술에서 FFR 측정으로 정의된 유의한 관상동맥질환을 진단하는 데에 있어서 특이도와 전반적인 진단 정확도가 유의하게 상승된 것으로 나타났다(63). 따라서, 임상 진료에

있어서, 부하 CMR은 관상동맥질환의 혈류역학적 유의성을 평가하고 혈관재개통술 시행 여부를 결정하는 데 사용될 수 있다.

부하 CMR은 관상동맥질환이 있거나 의심되는 환자들을 대상으로 심장 사건에 대해 높은 음성예측도를 가진 우수한 예측 방법이다(35, 38). 또한, 높은 공간해상도와 시간해상도, 방사선에 노출되지 않는다는 점, SPECT에서의 신호 약화나 산란과 같은 인공음영이 없다는 점, 영상의 방향에 제약이 없다는 점 등 다른 비침습적 진단법들에 비해 수많은 장점을 가지고 있다. 그러나 현재로서는 혈관재개통술 결정을 내리는 데에 부하 CMR을 활용하는 것이 다른 비침습적 방법들과 비교하여 더 우위에 있다고 결론 내리기는 힘든 상황이다. 몇 개의 기존 연구들에서 부하 CMR이 심근 SPECT에 비해 더 높은 진단적 정확도를 보인다고 보고된 바 있기는 하지만, 대부분의 연구에서는 유의한 관상동맥질환 진단에 대한 진단적 정확도를 침습적 관상동맥조영술을 표준 참조방법으로 사용하여 비교하였다(12, 14, 15, 17, 63, 64). 부하 CMR 결과에 의거한 혈관재개통술이 실제로 불필요한 치료를 감소시키는지 또는 예후를 향상시키는지 여부에 대한 연구가 추가로 필요하다.

부하 관류와 부하 심근벽 운동 평가 결과를 LGE 또는 MR 관상동맥조영술 결과와 함께 해석함으로써 CMR의 진단능 및 예후 예측능이 더 향상될 가능성도 있다. 대규모 전향적 연구인 Cardiovascular Magnetic Resonance and Single-photon Emission Computed Tomography for Diagnosis of Coronary Heart Disease (CE-MARC) 연구에서 좌심실 기능, 부하 관류, LGE, MR 관상동맥조영술을 포함하는 CMR이 SPECT와 비교하여 진단적 정확도 면에서 더 우월함이 입증된 바 있다(12). 그러나 LGE 또는 MR 관상동맥조영술이 혈관재개통술 실시여부의 의사결정과정 중에 추가 정보를 제공하는지 여부에 대해서는 추가 연구를 통해 확인할 필요가 있다.

[권고 사항]

관상동맥질환의 진단: 이전 검사 결과가 있는 경우

CMR의 프로토콜은 혈관확장제를 이용한 CMR 관류영상 혹은 도부타민 부하 CMR을 포함할 수 있다.

- ① 이전 검사(운동부하, 핵의학, 심장초음파, MRI)의 결과가 정상인 경우/Framingham 스코어에서 관상동맥질환의 고위험군/이전 검사가 1년 이내인 경우 CMR의 사용은 부적절하다(권고등급 I, 근거수준 A).
- ② 이전 검사(운동부하, 부하 심근스캔, 혹은 부하 심장초음파)가 애매한 경우/Framingham 스코어에서 관상동

맥 질환의 중등도 위험군의 경우 CMR의 시행을 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 A).

- ③ 관상동맥조영술(심도지술 혹은 CT)에서 관상동맥 협착의 중요도가 불분명한 경우 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 C).

관상동맥 재개통술 후 환자들에게서 관상동맥질환 평가

여러 연구들에서 수술 후 이식편의 10%가 관상동맥우회술(coronary artery bypass grafting; 이하 CABG)을 받는 동안 또는 받은 직후에 폐색을 일으키는 것으로 보고되어 왔다. 한 10년 추적관찰 연구에 따르면 수술 후 10년째에 59%의 정맥 이식편과 17%의 동맥 이식편이 폐색되었다고 한다(65-67). 따라서, 관상동맥우회술 이후 개방성 평가를 위해 신뢰할 수 있는 진단적 방법이 필요하다. 심장 CT와 CMR은 비침습적 방법으로 이런 요구에 부응하는 방법이다. 일부 연구들에서는 고해상도 MR 혈관조영술이 우회술을 받은 후 재발성 흉통이 있거나 무증상인 환자들을 대상으로 정맥 이식편 폐색의 중증도를 평가하는 데에 있어서 침습적 관상동맥조영술에 견줄만한 진단적 정확도를 보인다는 것을 입증하였다(68, 69). 그러나 현재까지 대부분의 연구들은 CABG를 받은 후 이식혈관 개방성을 평가하기 위해 심장 CT를 사용하였고, 아주 적은 수의 일부 연구에서만 CMR을 활용하였다. 따라서, 이와 관련된 CMR에 관한 추가적 연구가 필요하다.

관상동맥 스텐트 삽입술을 받은 환자들의 경우 스텐트의 재협착에 대한 정기적인 평가가 권고된다(53, 54). 여러 연구들에서 CMR 영상은 심장 스텐트의 개방성을 평가할 수 있는 안전하고 유망한 비침습적 방법으로 제안되고 있으나(70-72), 스텐트가 있는 부위의 인공음영으로 인해 MR 관상동맥조영술로 스텐트내의 재협착을 직접적으로 평가하는 것은 불가능하다. 따라서, MR 관상동맥조영술은 스텐트내 재협착의 통상적 평가를 위한 방법으로는 적절한 방법으로 권고되지 않는다. 또한, 스텐트 원위부의 혈류 평가를 통해 협착 정도를 추정하는 간접적 접근법은 신뢰도가 매우 낮은 것으로 알려져 있다(73, 74).

[권고 사항]

관상동맥질환의 평가: 관상동맥 성형술 혹은 관상동맥 우회술 이후
흉통증후군의 검사(MR 관상동맥조영술의 이용)

- ① 관상동맥 우회술 이식편의 평가에 MR 관상동맥조영술의 사용은 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 C).
- ② 스텐트를 이용하여 경피적 관상동맥 재개통술을 시행 받은 경우 MR 관상동맥조영술의 사용은 부적절하다(권고등급 I, 근거수준 C).

무증상환자(MR 관상동맥조영술의 이용)

- ① 관상동맥 우회술 이식편의 평가에 MR 관상동맥조영술의 사용은 부적절하다(권고등급 I, 근거수준 C).
- ② 스텐트를 이용하여 경피적 관상동맥 재개통술을 시행 받은 경우 스텐트 재협착 및 관상동맥 평가를 위한 MR 관상동맥조영술의 사용은 부적절하다(권고등급 I, 근거수준 C).

수술 전 관상동맥질환 위험도 평가

수술 전 심장검사의 실시 여부에 대한 결정은 개별 수술의 심장 위험도에 근거하며, 저위험도 수술이 예정된 환자들은 추가 검사 없이도 수술을 진행할 수 있다. 그러나 심근경색 또는 심장질환에 의한 치사율이 약 5%에 달하는 중등도 또는 고위험도 수술이 예정되어 있는 경우에는 추가 심장검사가 필요할 수 있다(75-79). 추가 심장검사는 3개 이상의 임상적 위험인자가 존재하거나 환자의 기능적 역량이 취약할 경우에 요구된다. 수술과 관련된 위험도가 증가할 수 있기 때문에 수술 전 검사로는 비침습적 검사가 권고된다(76, 80).

비침습적 수술 전 심장검사방법으로 CMR은 심장 CT나 심근 SPECT와는 대조적으로 유해한 방사선의 노출 없이 더 뛰어난 공간 및 시간 해상도를 보이며, 불량한 음향장을 가진 경우 심장초음파에 비해 더 정밀한 심장평가가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 따라서, CMR은 최근 심근 생존능과 관류, 판막 질환, 심근증, 선천성 심장 질환에 대한 수술 전 검사로 임상진료에서 더욱 빈번하게 이용되어 오고 있다(81). 특히, 부하 CMR 관류 검사에서 음성을 보이는 환자들의 경우, 최소 3년간 심장사망이나 치명적이지 않은 심근경색을 경험하지 않을 확률은 99.2% 정도이며, 이는 향후 심혈관사건 발생의 확률이 매우 희박함을 의미한다(37). 또한, 총 1233명의 피험자를 관찰한 21개의 연구를 대상으로 한 메타 분석에서는 부하 CMR 관류 검사가 폐쇄성 관상동맥질환을 평가할 수 있는 능력이 민감도 84%, 특이도 80%였다. 따라서, CMR은 수술 전 관상동맥질환의 평가에 유용한 것으로 여겨지고 있다(37, 82). 또한, CMR은 수술 후 심장기능상실 발생을 예측하는 좌심실 박출률(ejection fraction)과 좌심실 용적을 평가하는 데 있어서도 뛰

어난 검사이다. 그러나 인공 심장박동조율기, 이식형 제세동기 또는 인슐린 펌프가 이식되어 있는 환자들에서는 CMR 검사를 실시하기가 어렵다는 단점이 있다.

[권고 사항]

수술 전 관상동맥질환의 위험도 평가

CMR의 프로토콜은 혈관확장제를 이용한 심근 관류 MRI 혹은 도부타민 부하 CMR을 포함할 수 있다.

- ① 중등도의 수술 전/후 위험인자를 가진 환자에서 위험도가 낮은 비-심장수술의 경우 CMR의 사용은 부적절하다(권고등급 I, 근거수준 C).
- ② 중등도의 수술 전/후 위험인자를 가진 환자에서 중등도 혹은 고위험도인 비-심장수술의 경우 CMR의 시행을 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 C).
- ③ 심장관막수술 전 관상동맥질환의 검사에 CMR의 시행을 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 C).

가와사키병이 있는 소아 환자에서 관상동맥질환의 평가

심장초음파검사는 질병의 급성기 동안 병상에서 바로 실시할 수 있는 검사법이다. CMR은 종종 심장초음파를 통해 심장 이상을 발견하지 못하는 경우, 특히 소아 및 청소년들에게 유용한 진단도구가 될 수 있으며, 심근관류, 기능, 생존능을 동시에 평가할 수 있는 이점을 가지고 있다. CMR을 이용할 수 없는 경우에는, 심장초음파와 SPECT를 함께 사용하여 해부학적 정보, 기능 및 관류에 대한 전반적 평가를 할 수 있다. 심장 CT는 추적관찰 도구로서의 가치는 제한적인데, 그 이유는 방사선 노출의 문제가 있고, 석회화가 심한 경우 관상동맥에 대한 평가가 제한적이기 때문이다(83). 소아 환자군에서 MR 관상동맥조영술과 침습적 관상동맥조영술을 비교한 연구에 따르면 관상동맥의 확장과 동맥류를 진단하는 데에 두 검사의 결과가 일치하였으며 두 검사에서 측정된 동맥류의 직경 및 길이와 확장증의 직경은 유사하였다고 보고하였다(84-86). 다른 전향적 연구에서는 관상동맥 동맥류가 있는 환자들을 대상으로 MR 관상동맥조영술과 침습적 관상동맥조영술을 비교하였으며, 관상동맥류($n = 11$), 관상동맥협착($n = 2$), 관상동맥폐색($n = 2$)을 발견하는 데에 있어서 두 검사가 일치하는 결과를 보였으며 동맥류의 최대 직경 및 길이 측정결과도 높은 일치율을 보인다고 보고하였다(87).

[권고 사항]

관상동맥질환의 평가: 가와사키병을 가진 소아환자(MR 관상동맥조영술의 이용)

무증상 환자

- ① 이전 검사가(침습적 관상동맥조영술, MR 관상동맥조영술, CT 관상동맥조영술) 없는 경우 MR 관상동맥조영술의 사용은 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 B).
- ② 이전 검사에서(침습적 관상동맥조영술, MR 관상동맥조영술, CT 관상동맥조영술) 관상동맥의 동맥류나 협착이 발견된 경우 추적검사를 위한 MR 관상동맥조영술의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 B).

증상이 있는 환자

- ① 이전 검사가(침습적 관상동맥조영술, MR 관상동맥조영술, CT 관상동맥조영술) 없는 경우 MR 관상동맥조영술의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 B).
- ② 이전 검사에서(침습적 관상동맥조영술, MR 관상동맥조영술, CT 관상동맥조영술) 관상동맥의 동맥류나 협착이 발견된 경우 추적검사를 위한 MR 관상동맥조영술의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 B).

무증상 환자에서 관상동맥질환의 발견

무증상 환자에서 관상동맥질환을 발견함에 있어서 CMR의 유용성과 관련된 잘 디자인된 연구는 별로 보고된 바 없는데, 특히 지금까지 고위험군 환자에서 MR 관상동맥조영술의 이용에 대한 연구는 보고되지 않았다. 관상동맥 칼슘수치검사와 같은 경우 무증상 환자에서의 위험도 평가의 근거가 될 수 있는 연구들이 보고되기는 하였으나, CMR을 이용한 연구는 당뇨 환자군 등 특정 고위험 대상군에 대한 연구결과들이 보고되어 있을 뿐이어서 더 광범위한 연구가 필요한 분야이다(88).

[권고 사항]

관상동맥 질환의 발견: 무증상환자에서 CMR의 이용

CMR의 프로토콜은 혈관확장제를 이용한 심근 관류 MRI, 도부타민 부하 CMR, MR 관상동맥조영술을 포함할 수 있다.

- ① 관상동맥질환의 위험도가 저위험도인(Framingham) 환자에서 CMR의 사용은 부적절하다(권고등급 I, 근거수준 A).

- ② 관상동맥질환의 위험도가 중등도인(Framingham) 환자에서 CMR의 시행을 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 A).
- ③ 관상동맥질환의 위험도가 고위험도인(Framingham) 환자에서 CMR의 시행을 고려할 수 있다(권고등급 U, 근거수준 A).

허혈성 심장 질환에서 심근 반흔과 생존능 평가

허혈성 심장질환이 있는 환자들에서, 기절심근(stunned myocardium)과 같이 생존능이 있는 부위로부터 생존능이 없는 괴사 부위를 구분해내는 것은 심근 수축력의 회복 가능성을 예측하고 향후 치료방향을 계획함에 있어 중요하다. 가돌리늄을 사용하는 LGE-CMR은 많은 연구를 통해 심근 생존능을 평가함에 있어서 유용한 것으로 증명되었다.

LGE-CMR은 심근경색 환자에게서 관상동맥 재개통술을 시행하기 전에 향후 심근 수축력의 회복을 예측하기 위해 이용될 수 있다(89, 90). 최근의 한 메타 분석에서는 관상동맥 재개통술이 예정되어 있는 심근경색 환자를 대상으로 하여 LGE-CMR이 심근경색과 생존능이 있는 기절심근을 구분할 수 있는지 평가하였는데, 민감도 87%, 특이도 68%, 양성예측도 83%, 음성 예측도 72%로 전반적 진단 정확도가 82% 수준임을 밝힌 바 있다. 도부타민 부하 CMR 기법도 평가되었으며, 민감도 67%, 특이도 81%, 양성 예측값 82%, 음성 예측값 63%로 전반적 진단 정확도가 74%인 것으로 나타나, CMR이 심근 생존능의 평가에 유용함을 보고하였다(91).

또한, 4438명의 관상동맥질환 환자를 대상으로 한 메타분석에서, LGE-CMR에서 병소가 확인된 경우, 주요 심혈관 사건(major cardiovascular events; 이하 MACE)이 발생할 위험도가 2.65[95% 신뢰구간(confidence interval; 이하 CI), 1.98~3.56]에 달하였으며, LGE 부위의 크기가 좌심실의 10%씩 증가함에 따라 MACE 발생 위험도가 56%(95% CI, 1.39~1.75) 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 보고들은 심근경색이 있었던 환자들의 MACE를 예측하는 데 있어 CMR의 유용성을 뒷받침하고 있다(92). 따라서, 관상동맥 재개통술이 예정되어 있는 환자에서의 유용성에 관한 보고들에 기초하여, CMR은 심근생존능을 평가하기 위한 시술 전 검사법으로 점점 더 자리잡아 가고 있다.

많은 연구들에서 도부타민 부하 CMR과 LGE-CMR이 심근 생존능 평가에 중요하다고 보고하고 있다. 698명의 환자를 대상으로 한 24개 연구의 메타분석에 따르면 관상동맥 재개통술 후 심장기능의 회복을 예측하는 데 있어서 LGE-CMR이 민감

도 95%, 특이도 90%를 보였고, 도부타민 부하 CMR은 특이도 91%, 양성 예측도 93%를 보여 CMR을 이용하여 재개통술 후 심장 기능을 예측할 수 있다고 하였다(93-95).

SPECT와 CMR을 비교한 연구에서 전층 심근괴사 또는 정상 심근을 구분하는 능력에 있어서 두 검사법 간의 유의한 차이가 발견되지 않았지만, 심내막하 경색을 찾아내는 데 있어서 SPECT보다 CMR이 통계적으로 우월한 결과를 보였는데 이는 CMR의 공간해상도가 더 높기 때문이다(96-98). 최근의 한 연구에서는 CMR이 관상동맥질환을 검출함에 있어서 민감도 86.5%, 특이도 83.4%로, 민감도 66.5%, 특이도 82.6%를 나타낸 SPECT에 비해 진단능이 더 우월하다고 보고되었다(12). 또한 11개 연구를 종합한 메타분석 결과에서 CMR의 민감도는 79%, 특이도 87%로 SPECT와 유사한 진단 정확도를 보인다고 알려진 도부타민 부하 심장초음파와 비교하여도 더 우월하였다(99). 위의 결과들을 종합하면, 부하 CMR이 관상동맥질환 위험도가 낮거나 중등도이면서 검사결과 음성판정을 받은 환자들과 관상동맥질환 위험도가 높으면서 검사결과 양성 판정을 받은 환자들에게 특히 중요하다는 것을 의미한다. 또한 CMR은 다른 비침습적 검사법에서 중등도 위험군으로 판정받은 환자군에서 효과가 큰 것으로 나타났다.

ST 분절 상승을 보이는 급성 심근경색 환자들을 대상으로 한 연구들에 따르면 CMR로 측정된 심근 구제 지표(myocardial salvage index)가 장기적으로 MACE 발생과 상관관계가 있으며 중요한 독립적 예후인자라고 보고하였다(100, 101). 관상동맥 재개통술을 받은 후 CMR을 실시하는 것은 심근손상을 평가하는 데 도움이 되며(102), CMR은 환자의 예후에 대한 척도로도 추가적으로 활용될 수 있다.

[권고 사항]

심근의 반흔 및 생존능 평가

CMR의 프로토콜은 LGE-CMR 및 도부타민 부하 CMR을 포함할 수 있다.

- ① 급성 심근경색 이후에 no-reflow 병변을 포함한 심근 괴사의 위치와 범위를 평가하기 위해 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ② 급성 심근경색에서 관상동맥 경피적 재관류술 이후에 심근괴사를 평가하기 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ③ 급성 심근경색에서 관상동맥 재개통술(관상동맥 우회술/경피적 재관류술) 혹은 약물치료에 의한 심근 생존

능의 평가를 위해 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).

- ④ 핵의학검사나 도부타민 부하 심장초음파의 결과가 불충분한 경우, 재관류술 이전에 심근 생존능 평가를 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).

심부전 또는 심부전의 위험이 있는 환자에서 심장구조 및 심근기능 평가

심부전 또는 심부전의 위험이 있는 환자에서 일반적인 평가

심부전은 호흡곤란, 피로, 운동 불내성 등의 증상으로 나타나며, 체내 다양한 원인의 체액 저류와 조직 관류의 현저한 감소로 인해 발생한다(103). 심부전 환자들에서 신체검사를 실시하면 중증도에 따라 심장잡음, 경정맥 충혈, 하지부종, 마찰음(crackles), 또는 사지냉증을 확인할 수 있다(103). 심부전은 심장의 구조 또는 기능의 장애이며, 조직의 산소 요구도를 충족하고자 하는 심장 기능에 장애를 초래하게 된다(103). 따라서, 어떤 심장질환이라도 말기에는 임상적으로 심부전을 초래할 수 있다. 심부전의 정의가 간단해 보이지만, 진단을 내리는 것이 항상 쉽지만은 않다. 많은 심부전 증상들은 비특이적이거나 모호하여 진단적 가치는 매우 제한적이다(104, 105). 심부전은 심근, 판막, 또는 심장막의 비정상적인 기능, 또는 이들이 복합적으로 관여하여 발생할 수 있지만, 정확한 원인은 병력 확인 또는 신체검사만으로는 명확히 구분하기 어렵다(104, 105). 또한, 심부전 환자의 대다수는 다양한 임상적 상태로 관찰될 수 있는 심근 기능장애가 발생함으로써 증후가 드러나게 된다. 심근기능장애는 심실 확장을 수반하거나 수반하지 않은 상태에서 중증도의 심실 수축기능장애 감소에서부터 정상적인 심실 크기를 보이면서 심실박출률이 보존된 경우에 이르기까지 다양하게 나타날 수 있다. 앞에 기술된 두 가지 경우는 각각 심실박출률이 감소된 심부전과 박출률이 보존된 심부전으로, 심부전의 중요한 두 가지 형태에 해당한다(103). 따라서, 심실의 수축 기능은 물론 이완기능을 평가하는 것이 심부전을 진단하는 과정에서 중심적인 역할을 한다.

심장초음파는 심실의 해부학적 구조와 기능(수축 및 이완)을 비교적 잘 평가할 수 있어서 심부전의 평가에서 주요 위치를 차지하고 있으며, 심실의 크기나 용적, 형태와 기능상의 변화를 평가함에 있어 많은 임상연구에서 널리 사용되고 있다(106-110). 심장초음파가 심부전 환자들의 평가를 위한 일차적 선택 영상검사법이라는 것에는 의문의 여지가 없지만, 심장초음파는 심실의

크기와 기능을 측정함에 있어 검사자 간 변이가 매우 크며 환자 간 영상의 질의 차이가 크다는 문제를 안고 있으며 심실용적의 측정을 위해 기하학적 추정을 이용한다는 문제가 있다(107). 반면, CMR은 검사자 간 변이나 에코창의 제한 등으로 인한 환자 간 변이가 없으며, 심실 용적의 측정을 위해 심장 초음파에서 사용하는 기하학적 추정과정이 필요하지 않아서, 심실의 용적, 심근질량, 기능을 비침습적으로 정확하고 재현성 높게 평가할 수 있다(111-115). 많은 심부전 환자들에서 심실의 부위에 따라 다양한 수축장애와 기하학적 변형을 보이므로 심장초음파로 용적과 박출률을 측정할 때 오류를 범하게 될 가능성이 높으므로, 이것은 심부전 환자의 평가에서 CMR의 큰 장점이 될 수 있다. 이러한 장점으로 임상연구에 있어서 치료 전후의 변화를 평가하기 위해 심장초음파를 사용하는 것보다 CMR을 사용하는 것이 위험자수를 현저히 감소시킬 수 있다는 보고도 있다(116).

심부전의 병인을 확인하는 것은 치료 계획을 결정하기 위해 매우 중요하다. 심부전 환자의 영상검사서 구조와 기능의 평가가 주요한 두 가지 목적이기는 하지만, CMR은 심부전을 초래한 원인을 찾아내기 위한 단서들을 제공할 수 있다(117-119). CMR은 이상에서 언급한 대로 심실의 용적과 박출률 측정에 있어서 매우 정확하고 재현성이 높다. 이에 추가하여, CMR을 이용한 심근 관류, 생존능평가, 섬유화 평가 영상은 심부전의 원인을 확인하고 예후를 예측하는 데 도움이 될 수 있다(120, 121). 다양한 CMR 기법들 중에서도, LGE-CMR은 심근의 이상에 대한 직접적 정보를 제공함으로써 심부전의 병인을 알 수 있게 한다(118). 허혈성과 비허혈성 병인을 구분하는 것은 환자의 치료방침 결정과 환자의 예후에 현저한 영향을 미치기 때문에 심부전 평가의 기본적 단계가 된다(122). LGE-CMR에서의 조영증강 양상이 허혈성 병인과 비허혈성 병인을 구분함에 있어 도움을 주는데, 허혈성 LGE 양상은 심내막하 또는 전층을 침범하는 특징이 있고, 관상동맥의 관류 영역과 일치하는 부위에서 발견되는 반면, 비허혈성인 경우 일반적으로 심벽가운데 또는 심외막 쪽을 침범하거나, 하나의 관상동맥에 대응되는 관류 영역과 일치하지 않는 특징이 있다(123). LGE-CMR은 또한 LGE의 위치와 양상을 분석하여 심부전을 유발하는 비허혈성 심근증의 특이적 형태의 진단에도 도움이 된다. 예를 들어, 심첨부 비후성 심근증(apical hypertrophic cardiomyopathy)에서 심첨부에 LGE가 빈번하게 발견되고(124), 비대칭적인 중격성 비후성심근증(asymmetric septal hypertrophic cardiomyopathy)은 우심실이 심실중격에 연결되는 부위와 심실중격 내에서의 LGE가 특징이다(125). 확장성 심근증(dilated cardiomyopathy)에서는 기저부 심실중격 내에서의 LGE가 특징적이다. 앤더슨 패브리 질환(Anderson-Fabry disease)이 있는 환자들에게서는 좌

심실 측벽의 내부와 심외막에서 LGE가 발견될 수 있으며, 심장 사르코이드증에서는 심외막하 또는 벽중간, 특히 기저중격(basal septum)에서 특징적으로 관찰된다(126, 127). 심장 아밀로이드증은 전형적인 LGE 양상, 즉 심내막하의 미만성 조영증강을 보이며, 미만성으로 심근이 조영증강될 수 있어서 LGE 시퀀스에서 최적의 역전시간(inversion time)을 결정하기 어려운 경우가 있다는 점도 특징이다(128). 심근염은 LGE와 T2 부중 영상으로 진단할 수 있다(129, 130).

LGE의 경벽침범도(transmurality) 평가는 예후 예측에 좋은 지표가 된다(130). LGE 정도에 대한 평가를 CMR에서 측정된 좌심실 박출률과 결합할 경우 심부전 환자의 예후를 예측할 수 있는 것으로 보고되어 있다(131). 심부전 환자 사망의 약 50%는 예측하지 못하는 상황에 발생하므로, 이를 예방하는 것이 심부전 환자의 관리에 있어 또 다른 중요한 목표가 된다. 따라서 좌심실 박출률이 심하게 감소한 심부전 환자에서 이식형 심장율동전환-제세동기(implantable cardioverter-defibrillator; 이하 ICD)를 삽입하는 것이 중요한 치료전략이 되었다. LGE-CMR로 심근반흔을 평가함으로써 ICD 치료의 후보가 되는 심부전 환자들을 위험도에 따라 구분할 수 있다고 보고되고 있으며(132, 133), Gao 등(134)은 LGE-CMR을 이용한 총 반흔의 평가가 부정맥 발생을 예측할 수 있다고 보고하였다. CMR결과를 기반으로 한 ICD 치료는 ICD 치료로 유익성을 얻을 가능성이 있는 환자군을 예측하는 데 유용할 것으로 예상된다. 심장 재동기화 치료(cardiac resynchronization therapy; 이하 CRT)의 후보군을 결정하거나, CRT 시술을 계획할 때에도 동일한 전략이 적용될 수 있겠으나(135-137), 더 많은 연구가 필요하다.

일부 일련의 증례들을 통해 ICD가 있는 심부전 환자들에게서 CMR을 이용한 안전성과 유효성 보고가 있기는 하지만(138, 139), 이는 현재 시점에서 일반적으로 받아들여지는 방법은 아니며, 일상적인 임상진료로 채택되기 전에 추가 연구가 이루어져야 한다. 일반적으로, ICD 또는 CRT 기구를 삽입한 환자에서는 CMR은 권장되지 않는다.

[권고 사항]

심부전 환자나 심부전의 위험이 있는 환자의 평가

CMR의 프로토콜은 좌/우심실의 용적 및 심근질량평가, MR 혈관조영술, 심장판막질환의 정도 평가, 그리고 LGE-MRI를 포함할 수 있다.

- ① 심근경색 이후 혹은 심부전 환자에서 좌심실 기능의 평

가를 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).

- ② 심근경색 이후 혹은 심부전 환자에서 심장초음파를 이용한 평가에 기술적인 제한이 있을 때, 좌심실 기능의 평가를 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ③ 임상양상이 이전 검사의 결과에 유의하게 일치하지 않는 경우, 좌심실 기능의 평가를 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ④ 심부전이 새롭게 발견된 환자에서 원인을 평가하기 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ⑤ 심부전이 새롭게 의심되거나, 심부전의 위험이 있는 환자에서 심장의 구조와 기능을 평가하기 위한 초기 검사로서 CMR의 사용은 적절하다(해당되는 임상시나리오에는 다음의 경우를 포함할 수 있다: 심독성이 있는 항암제로 치료 중이거나 치료계획이 있는 악성종양 환자와 항암 치료 후 생존 환자에서 심실 기능장애가 의심되는 환자, 유전적인 심근증 환자의 직계가족, 선천성 심질환 환자에서 심실 기능장애가 의심되는 환자, 급성 심근경색으로 처음 입원중인 환자)(권고등급 A, 근거수준 A).
- ⑥ ICD의 적응증 여부를 결정하기 위한 검사로서(심실의 구출률 평가 혹은 다른 심장의 구조적 이상 검사) CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ⑦ CRT의 적응대상을 결정하기 위한 초기검사로서 혹은 시술의 계획을 위한 검사로서 CMR의 사용은 적절하다(심실의 구출률 평가, 심근의 섬유화 및 반흔 평가, 심장 정맥의 변이, 심장 내 혈전의 평가)(권고등급 A, 근거수준 A).
- ⑧ ICD 혹은 CRT 후 심장기능의 평가에 CMR의 사용은 부적절하다(권고등급 I, 근거수준 C).

선천성 심장질환이 있는 환자

CMR은 심장의 기저부에서 심첨부까지 심장과 심장외부의 해부학에 대한 완전한 정보를 효과적으로 제공할 수 있기 때문에 선천성 심장질환 평가에 매우 유용하다. 심장 CT와는 다르게 CMR은 방사선 노출에 대한 걱정 없이 소아 및 청소년에 대한 반복적인 평가가 가능하다. 그럼에도 불구하고 CMR은 중환자, 특히 급성상태에 있거나 협조가 불가능한 환자, 특히 신생아 및 영유아에게는 제한적이어서 이러한 경우 심장초음파의

보조적 검사법으로 사용되고 있다. 따라서 CMR에서는 심장초음파 후 남은 의문을 해결할 수 있는 시퀀스를 적절히 선택하는 것이 필요하다. CMR은 심장초음파와 비교하여 검사자에 대한 의존도가 낮아 복잡 심기형에서 객관적인 자료를 얻을 수 있다. 따라서 선천성 심질환에서 구조 이상과 혈액학 특성을 명확히 진단하고 파악하기 위해서 CMR이 이용된다. CMR 시행 시에는 선천성 심질환에 대한 해부학적 기능적 관점을 완전히 이해하고 영상을 얻는 것이 필요하다.

관상동맥 기형

관상동맥 CT가 짧은 시간 안에 선명한 해부학적 정보를 제공하기는 하지만, 관상동맥의 기시부와 근위부의 경로는 CMR로도 정확한 평가가 가능하다(46). 숨을 참는 데 어려움이 있는 환자들의 경우, 네비게이터 호흡동기화 기법을 사용하면 움직임에 의한 인공물을 최소화할 수 있다. 가와사키병으로 발생할 수 있는 관상동맥의 염증성 변화 확인에도 유용하다(84).

대혈관 기형

CMR은 대혈관을 평가하는 데에도 매우 효과적이다. 대동맥 축착은 가장 대표적 질환 중 하나이다. 2D와 도플러 기술을 이용한 경흉부 심장초음파는 대부분의 경우에 혈류역학적 중증도를 진단하고 평가하는 데에 유용하지만 에코창의 제한 등으로 평가가 어려운 경우가 있다. 이런 경우 CMR은 협착, 부행 순환, 상행대동맥의 형태학적 변형, 동반된 대동맥판막의 이상에 관한 다양하고 광범위한 정보를 제공할 수 있으며 수술적 교정이나 동맥성형술을 받은 후에도 훌륭한 영상검사기법이 된다(140-142). 폐동맥판 협착 또는 폐동맥판 폐쇄와 같은 질환에서는 CT를 통해 폐혈관이나 작은 혈관들을 더 민감하게 감지할 수 있기는 하지만, MR 혈관조영술로도 주대동맥폐동맥 간부행혈관(major aortopulmonary collateral artery)을 잘 볼 수 있다(143, 144).

CMR은 전체적인 대동맥 및 주요 대동맥 가지들을 평가할 수 있으므로, 마르팡 증후군(Marfan syndrome)이나 엘러스-단로스 증후군(Ehlers-Danlos syndrome)과 같은 전신질환에 수반된 대동맥 질환들을 정확하게 검사할 수 있다. 또한, 대동맥 확장이 임상적으로 드러나기 전에 비정상적 대동맥 탄력성을 확인해낼 수 있다(145, 146).

심실 및 판막 평가

CMR은 심실의 형태학적 특징을 확인하기에 매우 유용한 검사법이다(147). 따라서, 종합적인 CMR 평가를 통해 어떤 심실이 형태학적 우심실이고, 형태학적 좌심실인지를 쉽게 결정할

수 있다. 형태학적 우심실은 조정 띠(moderator band)를 포함한 다수의 거친 잔기동형성(trabeculation)이 특징이며 승모판과 비교하여 더 심첨부쪽으로 위치한 삼첨판과 연결되어 있다. 따라서, 완전 대혈관 전위증(complete transposition of the great arteries)이나 수정 대혈관 전위증(congenitally corrected transposition of the great arteries)과 같은 복잡한 선천성 심질환도 정확하게 평가할 수 있다(148, 149). 또한, CMR은 이런 환자들의 수술 후 추적관찰 측면에서도 매우 유용하다(149, 150). CMR은 심실중격결손이나 심방중격결손과 같은 질환에서 결손의 위치를 진단하고 단락을 정량화하는 데에도 유용하다(151-154).

선천성 판막결손을 포함하여 판막질환이 있는 환자들의 검사에 있어서 심장초음파가 일차선택 검사법이라는 것에는 의심의 여지가 없다(155). 그러나 CMR은 특히 에코창이 불량한 환자들과 우측 심장질환이 있는 환자들의 경우 보다 정확한 추가 정보를 제시할 수 있다. 높은 공간해상도와 뛰어난 신호대잡음 비 덕분에 심장 판막의 형태학적 및 병리학적 변화를 평가하는 것이 가능하며 위상대조영상을 이용할 경우 판막역류 정도의 정확한 정량화가 가능하다. 이는 특히 심한 폐동맥역류가 있는 환자들에게 적용할 수 있다. CMR은 판막역류를 정량화할 수 있으므로 우심실 유출로 확장술을 받은 팔로사징(tetralogy of Fallot) 환자에게 있어서 폐동맥역류 중증도를 시간 경과에 따라 관찰하는 데 특히 유용하다(156, 157). 우심실 용적 변화와 함께 역류 정도를 순차적으로 평가함으로써 폐동맥판 교체의 최적 시기를 결정하는 데 도움을 줄 수 있으며(158, 159), LGE-CMR 영상은 예후를 예측함에 기여할 수 있다(160). 그 외에도 CMR은 삼첨판역류, 심실중격결손의 잔존 여부, 말초폐동맥협착증, 대동맥판 역류, 좌심실 기능장애 등의 다른 요인들의 평가에도 유용하게 사용된다(156, 161).

CMR이 평가에 크게 기여할 수 있는 또 다른 중요한 질환은 엡스타인기형(Ebstein anomaly)과 그로 인한 삼첨판 역류이다(162). 엡스타인기형 환자에서 우심방과 우심실 간의 상관관계를 가시화하기 위해서는 수평 4방 cine 영상은 물론 일련의 횡축 cine 영상을 얻는 것이 권고되는데, 정확하고 재현성 있게 기능적 우심실의 용적을 측정하기 위해서는 단축 cine 영상뿐 아니라 이들 cine 영상을 조합하여 평가하는 것이 필요하다(163). 또한 수반되는 삼첨판 역류의 중증도를 정량화하는 것도 이 환자들의 CMR 평가에 있어서 중요한 통합적 부분 중 하나이다. 심방중격결손 또는 난원공개존이 이 환자 군에서 최대 50%까지 존재하는데 이를 확인할 목적으로는 CMR에 비해 심장초음파검사가 선호되기는 하지만 심방 단축 cine 영상으로 확인할 수 있으며, 단락용적도 위상대조영상으로 정량화할 수 있다.

선천성 심장질환 환자들의 수술 후 추적관찰

선천성 심장질환 환자들의 수술이나 중재술을 시행한 후 평가를 위해 일반적으로 심장초음파가 사용되는데, 대부분 심장초음파로도 충분히 평가가 가능하나 경우에 따라서는 심실 용적이나 역류용적의 정확한 정량이 임상적으로 중요할 수 있다. 특히 우심실의 경우 선천성 심장질환의 치료에 흔히 관련되고 그로 인해 부하를 받기 때문에 심장초음파검사에 비해 더 정확하고 재현성 있는 우심실 용적 및 기능 측정이 가능한 CMR을 사용하게 된다(112, 164-166). CMR을 이용하여 폐동맥역류와 이로 인해 좌심실 및 우심실 기능에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 것은 효과적인 환자 관리를 위해 중요하다(161, 167, 168). 대혈관치환술 및 심방전환수술을 받은 대동맥 전위 환자와 폰탄수술을 받은 환자들에게도 동일한 전략이 적용될 수 있다(149, 169-172).

[권고 사항]

선천성 심장질환의 평가

CMR의 프로토콜은 좌/우심실의 용적 및 심근질량평가, MR 혈관조영술, 판막질환의 정도 평가, 혈류 평가, 그리고 LGE-MRI를 포함할 수 있다.

- ① 관상동맥의 기형, 대혈관 기형, 심실, 심방 및 판막의 기형을 포함한 심기형의 구조 및 혈액학적 평가를 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ② 심실, 판막 및 다른 해부학적 평가를 포함한 수술 후 선천성 심장질환의 평가를 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).

심장판막질환의 평가

2D와 도플러 심장초음파검사의 출현으로 판막의 해부학과 심실, 그리고 그의 혈류역학적 결과들을 직접적으로 가시화하는 것이 가능하게 되었다. 자연적 또는 인공판막에 관계없이 판막질환 환자의 초기 평가 및 시간경과에 따른 추적관찰에 있어서 심장초음파가 표준적 검사도구라는 것에는 의심의 여지가 없다. 판막질환의 일상적인 임상진료에서 CMR의 역할은 제한적이었으나 지난 20여 년에 걸쳐, CMR은 영상 품질, 스캔 시간, 혈류역학적 평가에 이르기까지 놀라운 향상을 거듭해왔고, 그 결과 판막질환 환자에 있어서 방사선 노출 없는 대체적인 비침습성 영상검사법으로 떠오르고 있다. 높은 신호대잡음비와 우수한 공간 해상도 덕에 CMR은 cine (영화) 영상을 통해 판막의 해부학적 정보를 훌륭하게 제공할 수 있다. 영화 영상에

서 역류나 협착에 의한 제트혈류를 관찰할 수 있으나 이는 사용되는 시퀀스에 따라 크기나 정도가 달라지므로 판막질환의 중증도에 대한 정량적 평가법으로 사용되어서는 안된다. CMR에서 협착성 또는 역류성 판막병변의 중증도의 정량화는 위상대조영상기법을 통해 시행할 수 있다.

판막질환을 가지고 있는 환자의 평가에 있어서, CMR은 좌심실 또는 우심실 용적, 수축기능, 좌심방 또는 우심방 용적에 미치는 영향 등 판막 병변에 의한 영향을 정확하게 보여줄 수 있다는 것이 장점이다. 이 모든 검사들이 조영제의 투여 없이 이루어질 수 있기 때문에 신부전 환자에서도 신원성 전신성증의 우려 없이 적용할 수 있다는 것은 더욱 매력적인 점이다. SSFP cine 시퀀스는 혈액 대비 심근 대조도가 높고 자체적인 신호대잡음비도 매우 높아 판막의 해부학과 움직임을 검사하기 위한 목적으로 가장 널리 사용되는 CMR 기법이다(173). 이 기법을 이용하여 CMR은 어떤 부위든 원하는 축으로 영상을 만들어낼 수 있다. 위상대조영상은 속도 및 혈류량의 측정에 사용되며, 심장초음파영상의 결론이 모호하거나 평가 결과가 불충분한 환자들에게 적용을 고려해볼 수 있다.

한 가지 염두에 두어야 할 점은 판막질환과 관련된 모든 CMR 연구들이 심장초음파를 기준으로 하여 수행되었다는 점과 소규모의 환자들을 대상으로 하였다는 점이다(174-180). CMR을 이용하면 판막협착이 있는 환자들에서 최대 속도, 압력차, 협착 부위 면적에 대해 정확한 계산이 가능하며, 판막역류가 있는 환자들에게서 역류성 판막 부위, 역류량, 역류분획에 대한 정량적 평가가 가능하다(174). 좌심실과 우심실의 용적 측정을 재현성 높게 측정할 수 있다는 것은 CMR이 가진 매우 중요한 강점 중 하나이다. 판막역류는 심실의 용적 과부하를 유발하여 좌심실 또는 우심실의 재형성과 기하학적 변형을 초래할 수 있다. 심장초음파는 우심실 용적과 박출률을 정확히 평가할 수 없는 것에 반해 CMR은 기하학적인 가정 없이 정확히 우심실 용적을 측정할 수 있다. 특히, 팔로사지의 수술적 교정한 이후 나타날 수 있는 폐동맥역류에 의한 우심실 용적증가 평가를 위해 CMR이 유용하게 사용되며(157, 164, 181, 182), 현재 CMR은 우심실 평가에 있어서 표준검사법으로 일반적으로 사용되고 있다(183, 184).

인공 판막의 평가에 있어서 판막에 포함된 금속으로 인한 인공물과 신호 소실 때문에 CMR은 인공판막 자체의 평가에는 제한적이며, 조직판막의 경우에도 약 80% 정도만 판막 자체의 평가가 가능하므로, CMR은 인공판막 자체에 대한 평가보다는 심실의 용적 및 질량평가 등을 위해 사용될 수 있다(185-187).

[권고 사항]

심장판막 질환의 평가

CMR의 프로토콜은 좌/우심실의 용적 및 심근질량평가, MR 혈관조영술, 심장판막질환의 정도 평가, 그리고 LGE-MRI를 포함할 수 있다.

- ① 경흉부 혹은 경식도 심장초음파에 기술적인 제한이 있는 경우, 자연판막 혹은 인공판막질환의 평가에 CMR의 사용은 적절하다(판막 협착에서 협착면적 평가, 판막 역류에서 역류용적의 평가)(권고등급 A, 근거수준 A).

심근질환이 진단되거나 의심되는 환자의 평가

심근질환은 일반적으로 심근증(cardiomyopathy)과 심근염(myocarditis)의 두 가지로 분류된다.

심근증

제안된 분류체계가 일부 심근증의 표현형들 중 일부를 전적으로 대변하지 못하는 제한점이 있지만 일반적으로 심근증은 확장성 심근증(dilated cardiomyopathy), 제한성 심근증(restrictive cardiomyopathy), 비후성 심근증(hypertrophic cardiomyopathy; 이하 HCM), 부정맥유발 우심실성 심근증(arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy; 이하 ARVC), 미분류 심근증의 5가지로 분류한다.

ARVC는 우심실의 형태학적 및 기능적 변화를 초래하는 우심실 내 진행성 섬유지방화가 특징이다. ARVC는 종종 좌심실과 관련되기도 하고, 임상적으로 확장성 심근증 형태로 나타나기도 하지만, 항상 그런 것은 아니다. 최근 ARVC의 진단에 있어서 CMR의 역할이 확대되었다. 일반적으로, ARVC의 진단은 구조, 기능, 심장초음파상에서의 비정상적 소견, 그리고 이들의 복합적 상태를 증명하는 것이다. 원래의 태스크포스 진단기준에 따르면, 우심실 형태 및 기능적 이상은 대부분 심장초음파검사로 진단되었다. 심장초음파검사가 유용하기는 하지만 우심실의 형태 및 기능적 변화를 평가하기에 적절한 방법은 아니다. CMR은 우심실의 형태 및 기능적 평가에 있어 표준검사법으로 인정받고 있으므로, 개정된 진단기준은 CMR에 기반하여 우심실 국소 심벽운동 이상을 포함하는 우심실 형태 및 기능적 이상, 정확한 우심실 용적의 정량, 우심실류, trabeculation의 비정상적인 배열(trabecular disarray)을 포함하고 있다(188). LGE-CMR은 새롭게 제안된 진단기준에는 아직 포함되지 않았지만 LGE-CMR이 ARVC 환자에서 예후 예측에 도움이 된다고 보고되어 있다(189, 190). 또한 CMR은 유전자 양성이지만 음성 표현형을 보

이는 ARVC 환자의 조기 발견을 가능하게 한다(191).

심부전 부분에서 기술된 바와 같이, LGE-CMR은 특이적인 심근증을 감별하고 평가하는 것에 도움이 될 수 있다. 비허혈성 심근증의 LGE 양상은 일반적으로 심벽 가운데 또는 심외막쪽을 침범하거나, 하나의 관상동맥에 대응되는 관류영역과 일치하지 않는 특징이 있다(123). LGE 양상으로 항상 구분이 가능한 것은 아니지만, 심근증의 종류에 따라 LGE의 양상이 달라진다(123). 예를 들면, 심장 아밀로이드증(amyloidosis)은 심내막하의 미만성 조영증강이 특징적이며(192), 미만성으로 심근이 조영증강될 수 있어서 LGE 시퀀스에서 최적의 역전시간(inversion time)을 결정하는 데 어려움이 있는 것도 하나의 특징적인 소견으로 보고된다(193, 194). 또한 LGE-CMR은 사르코이드증(sarcoidosis)이 있는 환자에서 심장의 침범여부를 더 쉽게 확인할 수 있게 할 뿐만 아니라, 스테로이드 치료가 성공적일수록 LGE의 정도가 감소한다는 연구결과도 있어 치료 반응을 관찰하는 데에 대리지표로 사용될 수 있을 것으로 기대하고 있다(195). 트라스투주맙(trastuzumab)으로 인한 심근증은 좌심실 외측벽에서 심근 가운데 부위의 LGE가 특징적이라고 보고되었으나(196), 이에 대해서는 추가 연구가 필요하다.

좌심실 비치밀화증은 심장영상기술의 발전과 함께 점차 발견율이 높아지고 있다. 좌심실 비치밀화증(noncompaction)은 두드러지는 좌심실 섬유주와 섬유주간 홈이 깊은 두 가지 대표적인 소견이 특징이다(197). 이 질환의 CMR 진단기준은 확장기에 비치밀/치밀 심근의 비가 2.3을 넘을 경우로 정의된다(198). CMR은 또한 우수한 공간해상도 덕분에 침범된 좌심실 부위와 정상 좌심실 부위의 전이구역을 정밀하게 찾아낸다. 스트레스성 심근증(stress-induced cardiomyopathy)은 관상동맥 혈관조영술상 관상동맥 질환이 없는 상태에서 일시적인 국소적 좌심실 수축기능장애를 특징으로 한다. 대부분의 경우 좌심실 심첨부 이상을 보이지만, 때때로 중간부 혹은 기저부 심첨만 침범하기도 한다. 일반적으로 스트레스성 심근증의 진단은 심장초음파검사만으로 충분하기는 하지만, CMR은 국소 심벽 운동의 이상의 확진에 이용되고, 스트레스성 심근증에서는 대부분의 경우 LGE가 존재하지 않기 때문에, LGE가 빈번하게 관찰되는 급성 심근경색이나 다른 심근병증과의 감별에 유용하게 이용될 수 있다(199-201).

심근염

심근염은 또 다른 중요한 심근질환으로 확정진단이 쉽지 않다. 확진은 조직학적으로 심근 염증을 확인하는 것이지만 쉽지 않으며 염증이 부분적으로 침범하는 경우 제한적일 수 있고, 심근 생검에 따른 위험이 있다. CMR은 심근조직변화를 나타낼

수 있는 특성을 가지고 있어 최근 들어 심근염의 진단에 있어 그 역할이 커지고 있다(202, 203). 급성 심근염에서 예상되는 조직병리학적 변화는 세포내외공간 부종, 충혈, 모세관 누출, 섬유화와 함께 세포괴사 등을 포함하며, 이들 모두 급성 심근염 일 경우 T2 부종 영상과 LGE 또는 조기 조영증강기법과 같은 다양한 CMR 기법으로 발견이 가능하며 T2 강조 및 LGE 영상에서 심근신호 증가로 나타난다(129, 130).

심근염의 병인에 대한 정확한 진단을 위해서, CMR의 역할이 점차 더 많이 인지되고 강조되고 있다. 심근염의 확진이 조직학적 확인이라는 데에는 의심의 여지가 없으며, 심근질환이 의심되는 환자에게 있어서 일차선택 영상검사기법은 심장초음파이다. 그러나 cine 영상, LGE, 관류기법 등을 포함한 종합적 CMR 프로토콜로 진단 및 예후 예측이 가능할 것으로 예상된다.

[권고 사항]

심근질환이 진단되거나 의심되는 환자의 평가

CMR의 프로토콜은 좌/우심실의 용적 및 심근질량평가, MR 혈관조영술, 심장판막질환의 정도 평가, 그리고 LGE-MRI를 포함할 수 있다.

- ① 실신이나 심실의 부정맥이 있는 환자에서, 부정맥 유발성 우심실 이형성증/심근증(arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy, ARVD/C)의 평가를 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ② 관상동맥조영술에서 관상동맥이 정상이거나 의미 있는 협착이 없으면서 심장 효소검사가 양성인 경우, 심근염 혹은 심근경색의 여부를 검사하기 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ③ 특정 심근질환의[침윤성 심근질환(예, 아밀로이드증, 사르코이드증 등) 혹은 심독성 위험이 있는 치료] 검사를 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).

HCM 환자의 평가

HCM은 가장 흔한 유전적 심혈관질환으로 근육원섬유마디(sarcomere) 유전자의 돌연변이로 특징지을 수 있다(204). HCM 환자들은 예상치 못한 심장사건을 방지하기 위해 생활 습관을 바꾸어야 하기 때문에 정확한 진단이 필수적이며 가족 검진도 물론 시행되어야 한다. 경흉부 심장초음파검사는 좌심실 비대와 좌심실 유출로 폐쇄와 함께 수축기 승모판의 전방

움직임을 확인함으로써 HCM을 진단하는 데 있어서 가장 보편적으로 사용되는 영상방법이다. HCM은 다양하고 복잡한 형태학적 발현을 보이며 특히 심첨부, 후중격과 측면의 자유벽은 경흉부 심장초음파로는 측면 공간 해상도가 낮아 평가하기 어려운 경우가 있어 높은 신호대잡음비와 공간해상도가 높은 CMR이 이러한 부위를 평가하는 데 큰 역할을 할 수 있다(205-208). 특히 좌심실 심첨부는 초음파 탐촉자에 가까워 심장초음파로 평가하기 매우 어려워 심첨부 HCM은 경흉부 심장초음파검사에서 발견되지 않을 수도 있다(207). 또한 심첨부 좌심실류는 HCM에 있어서 드물지 않게 발견되며 심혈관 이환율과 사망률과도 연관이 있어 더욱 민감하게 확인할 필요가 있다(209, 210). 이런 관점에서, 심장초음파검사 결과가 제한적이거나 불충분한 HCM 환자들의 경우 CMR이 좌심실 비후 양상과 심첨부 좌심실류의 존재유무에 대해 더 정확한 정보를 제공할 수 있다. HCM은 종종 우심실을 침범하기도 하는데, 우심실을 침범한 HCM의 임상적 또는 예후에 있어서 유의성은 아직 알려지지 않지만, 이 경우 심장초음파검사에 비해 cine 영상으로 더욱 정확한 평가가 가능하다(211).

LGE-CMR은 설명되지 않는 좌심실 비대 환자들을 진단하는 데 도움이 된다(212). HCM에서 전형적인 LGE 양상은 비후된 심벽 내부나 우심실이 심실중격에 연결되는 지점에 위치한다(212). 그러나 LGE는 비후 부위로 한정되지 않고 다른 부분에서도 발견될 수 있다(124). 심근섬유화는 HCM의 주된 병리조직학적 특징으로 여겨지며, 이는 LGE-CMR로 평가가 가능하다(213-215). CMR로 결정된 심근섬유화는 HCM 환자들에게 있어서 예후와 밀접한 상관성이 있다는 보고가 이어지고 있으며, 급사에 대한 전통적인 위험인자에 비해 우월한 것으로 보고되었다(210, 216-221). 또한, LGE의 정도는 진행성 심실 재구성(remodeling)과 관련이 있는 것으로 보고되었으며(222), LGE 존재와 홀터 검사에서의 심실 빈맥 간에 강한 상관성이 있다는 것이 보고되고 있다(210, 221, 223, 224).

HCM은 상염색체우성 유전질환이고, 따라서 일차 혈연관계에서는 유전자를 보유할 확률이 50%이다. HCM의 향후 임상적 발현 가능성을 확인할 수 있는 가장 좋은 방법은 유전형검사이지만, 높은 비용과 질환의 다양한 발현도로 인하여 제한적이다. 또 다른 문제는 HCM 환자의 약 40%가 유전적으로 음성이라는 것이다. 그러나 최근의 일부 CMR 연구 결과에서, 심근와(myocardial crypts)(225, 226), 승모판첨판의 길이(227), HCM을 시사하는 LGE 존재(228) 등이 HCM의 초기 영상학적 소견임이 보고되었다. 이러한 CMR 소견들은 유전학적 검사와 함께 이용될 경우 HCM을 질병 초기단계에 확인할 수 있는 잠재력이 있으며, 향후 추가 연구가 필요하다.

[권고 사항]

비후성 심근증 환자의 검사

CMR의 프로토콜은 좌/우심실의 용적 및 심근질량평가, MR 혈관조영술, 심장판막질환의 정도 평가, 그리고 LGE-MRI를 포함할 수 있다.

- ① 비후성 심근증 환자에서 심장초음파의 결과가 확실하지 않거나 부적절한 경우 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ② 심첨부의 비후 혹은 좌심실류를 검사할 때, 심장초음파의 결과가 확실하지 않거나 부적절한 경우, CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).
- ③ 비후성 심근증 환자의 일부에서, 급사의 위험도 평가가 기존의 위험도 평가 척도를 이용하여 확실하지 않은 경우 심근의 지연성 조영증강을 평가하기 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).

기타 질환

심장 종괴(종양 및 혈전) 평가

심장 내 종괴는 드물지 않게 발견되며 가장 흔한 심장 내 종괴는 혈전이다. 특히 심방세동 환자의 경우 좌심방에서, 심근경색이나 심근증으로 인해 심한 좌심실 기능장애가 있는 환자들은 좌심실 혈전이 빈번히 발견된다. 기존의 여러 연구들이 심장 내 혈전, 특히 좌심실 내 혈전을 발견하는 데 있어서 다양한 역전시간을 이용한 LGE 영상이 심장초음파검사나 조영증강 심장초음파검사보다 더 우수하다는 것을 밝힌 바 있다(229-231). 좌심실 심벽혈전은 특히 조영증강 CMR로 잘 발견된다(232). 심장 내 종양에 있어 CMR은 종양의 범위와 인접 구조들과의 관계를 잘 보여준다. 또한 종양 조직의 특성으로 종양의 성상을 파악할 수 있다. 가장 흔한 심장 내 종양인 점액종(myxoma)은 T2-강조영상에서 높은 신호강도로 보이며 불균일한 신호강도를 보인다. T1-강조영상에서 높은 신호강도를 보이는 병변으로는 지방종, 최근 출혈이 있었던 종양, 흑색종(멜라닌의 영향에 기인) 등이 있다. 이 경우 지방포화기법(fat saturation technique)은 정확한 감별을 위한 추가 정보를 제공한다. T1-강조영상에서 낮은 신호강도를 가진 병변은 낭종, 혈관 기형에서 보이는 신호소실, 석회화 또는 공기를 의미하는 것일 수 있다. 물은 일반적으로 T2-강조영상에서 높은 신호강도를 보이므로, 심장 내 또는 심장 막 낭종은 높은 신호강도를 보인다. 또한, 점액종, 지방종 또는 전이성 종양도 T2-강조영상에서 높은 신호강도를 보인다.

추가적 구분을 위해, 관류 영상, 초기 및 후기 조영증강 영상이 일반적으로 필요하다. 초기 조영증강 영상은 조영제 주입 후 1~2 분 시점에 촬영하며 악성종양의 괴사성 부위가 다른 부위의 조영증강에 둘러싸여 어둡게 나타난다. LGE 영상에서는 악성종양은 전형적으로 조직 혈관형성을 시사하는 조영증강을 보인다. 일반적으로 낭종성 병변이나 점액종을 제외한 대부분의 양성종양에서는 이와 같은 조영증강을 보이지 않는다(7). 점액종과 구분하기 위해서는, 종괴의 위치와 stalk (육경)의 유무가 중요한 정보를 제공할 수 있다. 인접 조직 침윤 여부는 일차통과 관류영상과 LGE 기법을 이용할 경우 가장 잘 평가할 수 있다(233-235).

[권고 사항]

심장 종괴의 평가

- ① 심장 종괴의 평가를 위해(심장의 종양이나 혈전이 의심되는 경우), 관류나 조영증강을 평가하기 위한 조영증강 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 A).

심장막 평가

CMR은 심장막 삼출과 심장막에 대한 정확한 정보를 제공할 수 있으며(236), 실시간 cine 영상을 이용하면 협착성 병태생리도 확인이 가능하다(237, 238). 지방포화기법과 함께 LGE를 사용하면 협착심장막염(constrictive pericarditis) 환자에서 심장막 염증 정도도 가늠할 수 있어서 심장막절제술(pericardiectomy)을 시행하기 전에 항염증약제의 유효성을 예측할 수 있다(239). 심장막의 종괴가 있을 때 종양조직의 특성을 신뢰성 있게 분석할 수 있으며 심장막 부재 등을 평가하는 데에도 이용할 수 있다(236).

[권고 사항]

심장막 평가

- ① 심장막의 종괴나 협착성심장막염의 평가를 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 B).

대동맥박리 평가

CMR은 박리피판(dissection flap)과 박리가 시작된 위치를 찾아내기 위한 좋은 검사법이다. 경식도 심장초음파검사나 CT가 널리 사용되고 있는 방법이지만, 한 메타분석에서 1139명의 환자들을 대상으로 하여 CT, CMR, 경식도 심장초음파의 정확도

를 분석하였는데 민감도(98~100%)와 특이도(95~98%)는 이들 영상 검사기법 간에 유사한 결과였으며 양성우도비(positive likelihood ratio)는 CMR (25.3, 95% 신뢰구간 11.1~57.1)이 경식도 심장초음파(14.1; 6.0~33.2)나 CT (13.9; 4.2~46.0)에 비해 더 높았다(240). 응급상황에서 MR을 이용한 대동맥 박리의 진단은 상대적으로 검사시간이 길고 실시간 환자 모니터링이 어렵다는 점에서 제한적이지만 추후 평가에 있어서는 방사선노출이 없기 때문에 실질적인 유용성이 있을 것으로 보인다.

[권고 사항]

대동맥 박리의 평가

- ① 대동맥 박리의 진단을 위한 CMR의 사용은 적절하다 (권고등급 A, 근거수준 A).

심방세동 환자의 고주파 절제술 전 평가

심방세동 환자에서 폐정맥의 고주파절제(radiofrequency ablation)를 실시하기 전 좌심방과 폐정맥의 정확한 해부학적 평가가 필수적이다. 심장 CT와 마찬가지로 CMR 또한 폐정맥의 해부학적 변형과 관련하여 뛰어난 영상을 제공할 수 있다(241-243). 일부 연구에서는 폐정맥에서 다양한 변이가 존재한다고 보고하였는데 이를 진단하는 데 있어서 CT와 CMR은 좋은 상관성을 보였다(242).

[권고 사항]

심방세동 환자의 고주파 절제술 전 평가

- ① 심방 세동에 대한 고주파 절제술 이전 폐정맥의 평가 및 지도화를 위한 좌심방, 폐정맥의 해부학적 평가를 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 B).

구조적 심질환에 대한 경피적 시술 전 해부학적 평가

심방중격결손의 경피적 시술시 적절한 기구를 선택하는 데에 있어서 결손의 모양과 크기를 정확히 측정하는 것이 필수적이다. 심방중격결손의 정확한 분류, 비침습적 폐동맥 혈류량과 체동맥 혈류량의 비(Q_p/Q_s) 측정, 동반된 선천성 기형의 유무를 평가하는 것이 매우 중요한데 CMR로 이를 평가할 수 있다. 여러 연구들에서 경식도 심장초음파와 CMR로 측정한 결손의 크기가 매우 유사하다고 보고되었다. 또한 CMR에서 최적화된 영상 평면을 선택하여 심방중격결손에 평행한 영상을 얻으면 정

확한 결손의 크기, 형태와 혈류의 흐름을 평가할 수 있다(244, 245). Thomson 등(246)은 CMR이 기존 평가방법에 대해 부가적인 정보를 제공하여 약 20%의 환자에서 치료방침을 바꾸게 하였다고 보고하였다.

최근 경피적 대동맥판막교체술이 점차 증가하는 추세이며, 경식도 심장초음파와 심장 CT가 좌심실 유출로, 관상동맥 기시부와의 관계, 석회화의 정도에 대해 뛰어난 해부학적 및 기능적 영상을 제시하는 것으로 알려져 있다. CMR은 모든 측정치에서 경흉부 심장초음파보다 약간 큰 값을 보이는 경향을 보인다고 알려져 있고, 경피적 대동맥판막교체술에 있어서 좋은 해부학적인 정보를 제공한다고 보고되었다(247).

[권고 사항]

구조적 심질환에 대한 경피적 시술 전 평가

- ① 심방/심실 중격 결손의 경피적 시술 전 혹은 경피적 대동맥판막교체술의 계획을 위한 CMR의 사용은 적절하다(권고등급 A, 근거수준 B).

SUPPLEMENTARY MATERIALS

The online-only Data Supplement is available with this article at <http://dx.doi.org/10.3348/jksr.2015.72.4.217>.

REFERENCES

1. Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, Poon M, Hendel RC, Carr JC, et al. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1475-1497
2. Beanlands RS, Chow BJ, Dick A, Friedrich MG, Gulenchyn KY, Kiess M, et al. CCS/CAR/CANM/CNCS/CanSCMR joint

- position statement on advanced noninvasive cardiac imaging using positron emission tomography, magnetic resonance imaging and multidetector computed tomographic angiography in the diagnosis and evaluation of ischemic heart disease--executive summary. *Can J Cardiol* 2007;23:107-119
3. 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: executive summary: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation* 2011;124:2761-2796
 4. ASCI CCT and CMR Guideline Working Group, Kitagawa K, Choi BW, Chan C, Jinzaki M, Tsai IC, et al. ASCI 2010 appropriateness criteria for cardiac magnetic resonance imaging: a report of the Asian Society of Cardiovascular Imaging cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging guideline working group. *Int J Cardiovasc Imaging* 2010;26(Suppl 2):173-186
 5. Patel MR, White RD, Abbara S, Bluemke DA, Herfkens RJ, Picard M, et al. 2013 ACCF/ACR/ASE/ASNC/SCCT/SCMR appropriate utilization of cardiovascular imaging in heart failure: a joint report of the American College of Radiology Appropriateness Criteria Committee and the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:2207-2231
 6. Pennell DJ, Sechtem UP, Higgins CB, Manning WJ, Pohost GM, Rademakers FE, et al. Clinical indications for cardiovascular magnetic resonance (CMR): Consensus Panel report. *J Cardiovasc Magn Reson* 2004;6:727-765
 7. Pennell DJ, Sechtem UP, Higgins CB, Manning WJ, Pohost GM, Rademakers FE, et al. Clinical indications for cardiovascular magnetic resonance (CMR): Consensus Panel report. *Eur Heart J* 2004;25:1940-1965
 8. Greenland P, Alpert JS, Beller GA, Benjamin EJ, Budoff MJ, Fayad ZA, et al. 2010 ACCF/AHA guideline for assessment of cardiovascular risk in asymptomatic adults: executive summary: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation* 2010;122:2748-2764
 9. Wilke N, Jerosch-Herold M, Wang Y, Huang Y, Christensen BV, Stillman AE, et al. Myocardial perfusion reserve: assessment with multisection, quantitative, first-pass MR imaging. *Radiology* 1997;204:373-384
 10. Schwitter J, Nanz D, Kneifel S, Bertschinger K, Büchi M, Knüsel PR, et al. Assessment of myocardial perfusion in coronary artery disease by magnetic resonance: a comparison with positron emission tomography and coronary angiography. *Circulation* 2001;103:2230-2235
 11. Giang TH, Nanz D, Coulden R, Friedrich M, Graves M, Al-Saadi N, et al. Detection of coronary artery disease by magnetic resonance myocardial perfusion imaging with various contrast medium doses: first European multicentre experience. *Eur Heart J* 2004;25:1657-1665
 12. Greenwood JP, Maredia N, Younger JF, Brown JM, Nixon J, Everett CC, et al. Cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography for diagnosis of coronary heart disease (CE-MARC): a prospective trial. *Lancet* 2012;379:453-460
 13. Pilz G, Bernhardt P, Klos M, Ali E, Wild M, Höfling B. Clinical implication of adenosine-stress cardiac magnetic resonance imaging as potential gatekeeper prior to invasive examination in patients with AHA/ACC class II indication for coronary angiography. *Clin Res Cardiol* 2006;95:531-538
 14. Schwitter J, Wacker CM, van Rossum AC, Lombardi M, Al-Saadi N, Ahlstrom H, et al. MR-IMPACT: comparison of perfusion-cardiac magnetic resonance with single-photon emission computed tomography for the detection of coronary artery disease in a multicentre, multi-vendor, randomized trial. *Eur Heart J* 2008;29:480-489
 15. Schwitter J, Wacker CM, Wilke N, Al-Saadi N, Sauer E, Huettler K, et al. MR-IMPACT II: Magnetic Resonance Imaging for Myocardial Perfusion Assessment in Coronary artery disease Trial: perfusion-cardiac magnetic resonance vs. single-photon emission computed tomography for the detection of coronary artery disease: a comparative multicentre, multivendor trial. *Eur Heart J* 2013;34:775-781
 16. Nandalur KR, Dwamena BA, Choudhri AF, Nandalur MR, Carlos RC. Diagnostic performance of stress cardiac mag-

- netic resonance imaging in the detection of coronary artery disease: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2007;50: 1343-1353
17. Schwitter J, Wacker CM, Wilke N, Al-Saadi N, Sauer E, Huettler K, et al. Superior diagnostic performance of perfusion-cardiovascular magnetic resonance versus SPECT to detect coronary artery disease: The secondary endpoints of the multicenter multivendor MR-IMPACT II (Magnetic Resonance Imaging for Myocardial Perfusion Assessment in Coronary Artery Disease Trial). *J Cardiovasc Magn Reson* 2012;14:61
18. Hundley WG, Hamilton CA, Thomas MS, Herrington DM, Salido TB, Kitzman DW, et al. Utility of fast cine magnetic resonance imaging and display for the detection of myocardial ischemia in patients not well suited for second harmonic stress echocardiography. *Circulation* 1999; 100:1697-1702
19. Nagel E, Lehmkuhl HB, Bocksch W, Klein C, Vogel U, Frantz E, et al. Noninvasive diagnosis of ischemia-induced wall motion abnormalities with the use of high-dose dobutamine stress MRI: comparison with dobutamine stress echocardiography. *Circulation* 1999;99:763-770
20. Paetsch I, Jahnke C, Ferrari VA, Rademakers FE, Pellikka PA, Hundley WG, et al. Determination of interobserver variability for identifying inducible left ventricular wall motion abnormalities during dobutamine stress magnetic resonance imaging. *Eur Heart J* 2006;27:1459-1464
21. Paetsch I, Jahnke C, Wahl A, Gebker R, Neuss M, Fleck E, et al. Comparison of dobutamine stress magnetic resonance, adenosine stress magnetic resonance, and adenosine stress magnetic resonance perfusion. *Circulation* 2004;110:835-842
22. Pennell DJ, Underwood SR, Manzara CC, Swanton RH, Walker JM, Ell PJ, et al. Magnetic resonance imaging during dobutamine stress in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1992;70:34-40
23. Rerkpattanapipat P, Gandhi SK, Darty SN, Williams RT, Davis AD, Mazur W, et al. Feasibility to detect severe coronary artery stenoses with upright treadmill exercise magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol* 2003;92:603-606
24. Wahl A, Paetsch I, Gollesch A, Roethemeyer S, Foell D, Gebker R, et al. Safety and feasibility of high-dose dobutamine-atropine stress cardiovascular magnetic resonance for diagnosis of myocardial ischaemia: experience in 1000 consecutive cases. *Eur Heart J* 2004;25:1230-1236
25. Kuijpers D, Ho KY, van Dijkman PR, Vliegenthart R, Oudkerk M. Dobutamine cardiovascular magnetic resonance for the detection of myocardial ischemia with the use of myocardial tagging. *Circulation* 2003;107:1592-1597
26. Korosoglou G, Lehrke S, Wochele A, Hoerig B, Lossnitzer D, Steen H, et al. Strain-encoded CMR for the detection of inducible ischemia during intermediate stress. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010;3:361-371
27. Schalla S, Klein C, Paetsch I, Lehmkuhl H, Bornstedt A, Schnackenburg B, et al. Real-time MR image acquisition during high-dose dobutamine hydrochloride stress for detecting left ventricular wall-motion abnormalities in patients with coronary arterial disease. *Radiology* 2002; 224:845-851
28. Hamdan A, Asbach P, Wellnhofer E, Klein C, Gebker R, Kelle S, et al. A prospective study for comparison of MR and CT imaging for detection of coronary artery stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011;4:50-61
29. Kato S, Kitagawa K, Ishida N, Ishida M, Nagata M, Ichikawa Y, et al. Assessment of coronary artery disease using magnetic resonance coronary angiography: a national multicenter trial. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:983-991
30. Kim WY, Danias PG, Stuber M, Flamm SD, Plein S, Nagel E, et al. Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary stenoses. *N Engl J Med* 2001; 345:1863-1869
31. Sakuma H, Ichikawa Y, Chino S, Hirano T, Makino K, Takeda K. Detection of coronary artery stenosis with whole-heart coronary magnetic resonance angiography. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1946-1950
32. Schuetz GM, Zacharopoulou NM, Schlattmann P, Dewey M. Meta-analysis: noninvasive coronary angiography using computed tomography versus magnetic resonance imaging. *Ann Intern Med* 2010;152:167-177
33. Yang Q, Li K, Liu X, Bi X, Liu Z, An J, et al. Contrast-enhanced whole-heart coronary magnetic resonance angi-

- ography at 3.0-T: a comparative study with X-ray angiography in a single center. *J Am Coll Cardiol* 2009;54:69-76
34. Nagata M, Kato S, Kitagawa K, Ishida N, Nakajima H, Nakamori S, et al. Diagnostic accuracy of 1.5-T unenhanced whole-heart coronary MR angiography performed with 32-channel cardiac coils: initial single-center experience. *Radiology* 2011;259:384-392
 35. Gargiulo P, Dellegrottaglie S, Bruzzese D, Savarese G, Scala O, Ruggiero D, et al. The prognostic value of normal stress cardiac magnetic resonance in patients with known or suspected coronary artery disease: a meta-analysis. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:574-582
 36. Hundley WG, Morgan TM, Neagle CM, Hamilton CA, Rerkpattanapipat P, Link KM. Magnetic resonance imaging determination of cardiac prognosis. *Circulation* 2002;106:2328-2333
 37. Jahnke C, Nagel E, Gebker R, Kokocinski T, Kelle S, Manka R, et al. Prognostic value of cardiac magnetic resonance stress tests: adenosine stress perfusion and dobutamine stress wall motion imaging. *Circulation* 2007;115:1769-1776
 38. Lipinski MJ, McVey CM, Berger JS, Kramer CM, Salerno M. Prognostic value of stress cardiac magnetic resonance imaging in patients with known or suspected coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2013;62:826-838
 39. Yoon YE, Kitagawa K, Kato S, Ishida M, Nakajima H, Kurita T, et al. Prognostic value of coronary magnetic resonance angiography for prediction of cardiac events in patients with suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2012;60:2316-2322
 40. 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
 41. Bunce NH, Lorenz CH, Keegan J, Lesser J, Reyes EM, Firmin DN, et al. Coronary artery anomalies: assessment with free-breathing three-dimensional coronary MR angiography. *Radiology* 2003;227:201-208
 42. Casolo G, Del Meglio J, Rega L, Manta R, Margheri M, Villari N, et al. Detection and assessment of coronary artery anomalies by three-dimensional magnetic resonance coronary angiography. *Int J Cardiol* 2005;103:317-322
 43. Clemente A, Del Borrello M, Greco P, Mannella P, Di Gregorio F, Romano S, et al. Anomalous origin of the coronary arteries in children: diagnostic role of three-dimensional coronary MR angiography. *Clin Imaging* 2010;34:337-343
 44. Gharib AM, Ho VB, Rosing DR, Herzka DA, Stuber M, Arai AE, et al. Coronary artery anomalies and variants: technical feasibility of assessment with coronary MR angiography at 3 T. *Radiology* 2008;247:220-227
 45. McConnell MV, Ganz P, Selwyn AP, Li W, Edelman RR, Manning WJ. Identification of anomalous coronary arteries and their anatomic course by magnetic resonance coronary angiography. *Circulation* 1995;92:3158-3162
 46. Taylor AM, Thorne SA, Rubens MB, Jhooti P, Keegan J, Gatehouse PD, et al. Coronary artery imaging in grown up congenital heart disease: complementary role of magnetic resonance and x-ray coronary angiography. *Circulation* 2000;101:1670-1678
 47. Plein S, Greenwood JP, Ridgway JP, Cranny G, Ball SG, Sivananthan MU. Assessment of non-ST-segment elevation acute coronary syndromes with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:2173-2181
 48. Kwong RY, Schussheim AE, Rekhraj S, Aletras AH, Geller N, Davis J, et al. Detecting acute coronary syndrome in the emergency department with cardiac magnetic resonance imaging. *Circulation* 2003;107:531-537
 49. Cury RC, Shash K, Nagurney JT, Rosito G, Shapiro MD, Nomura CH, et al. Cardiac magnetic resonance with T2-weighted imaging improves detection of patients with acute coronary syndrome in the emergency department. *Circulation* 2008;118:837-844
 50. Miller CD, Hwang W, Case D, Hoekstra JW, Lefebvre C, Blumstein H, et al. Stress CMR imaging observation unit in the emergency department reduces 1-year medical care costs in patients with acute chest pain: a randomized study for comparison with inpatient care. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011;4:862-870
 51. Miller CD, Case LD, Little WC, Mahler SA, Burke GL, Harper

- EN, et al. Stress CMR reduces revascularization, hospital readmission, and recurrent cardiac testing in intermediate-risk patients with acute chest pain. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013;6:785-794
52. Kern MJ, Lerman A, Bech JW, De Bruyne B, Eeckhout E, Fearon WF, et al. Physiological assessment of coronary artery disease in the cardiac catheterization laboratory: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization, Council on Clinical Cardiology. *Circulation* 2006;114:1321-1341
53. Smith SC Jr, Feldman TE, Hirshfeld JW Jr, Jacobs AK, Kern MJ, King SB 3rd, et al. ACC/AHA/SCAI 2005 guideline update for percutaneous coronary intervention: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/SCAI Writing Committee to Update 2001 Guidelines for Percutaneous Coronary Intervention). *Circulation* 2006;113:e166-e286
54. Smith SC Jr, Feldman TE, Hirshfeld JW Jr, Jacobs AK, Kern MJ, King SB 3rd, et al. ACC/AHA/SCAI 2005 guideline update for percutaneous coronary intervention: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/SCAI Writing Committee to Update the 2001 Guidelines for Percutaneous Coronary Intervention). *J Am Coll Cardiol* 2006;47:e1-e121
55. Meijboom WB, Van Mieghem CA, van Pelt N, Weustink A, Pugliese F, Mollet NR, et al. Comprehensive assessment of coronary artery stenoses: computed tomography coronary angiography versus conventional coronary angiography and correlation with fractional flow reserve in patients with stable angina. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:636-643
56. Pijls NH, Fearon WF, Tonino PA, Siebert U, Ikeno F, Bornschein B, et al. Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention in patients with multivessel coronary artery disease: 2-year follow-up of the FAME (Fractional Flow Reserve Versus Angiography for Multivessel Evaluation) study. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:177-184
57. Tonino PA, De Bruyne B, Pijls NH, Siebert U, Ikeno F, van't Veer M, et al. Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention. *N Engl J Med* 2009;360:213-224
58. Hamon M, Fau G, Née G, Ehtisham J, Morello R, Hamon M. Meta-analysis of the diagnostic performance of stress perfusion cardiovascular magnetic resonance for detection of coronary artery disease. *J Cardiovasc Magn Reson* 2010;12:29
59. Costa MA, Shoemaker S, Futamatsu H, Klassen C, Angiolillo DJ, Nguyen M, et al. Quantitative magnetic resonance perfusion imaging detects anatomic and physiologic coronary artery disease as measured by coronary angiography and fractional flow reserve. *J Am Coll Cardiol* 2007;50:514-522
60. Lockie T, Ishida M, Perera D, Chiribiri A, De Silva K, Kozerke S, et al. High-resolution magnetic resonance myocardial perfusion imaging at 3.0-Tesla to detect hemodynamically significant coronary stenoses as determined by fractional flow reserve. *J Am Coll Cardiol* 2011;57:70-75
61. Rieber J, Huber A, Erhard I, Mueller S, Schwyer M, Koenig A, et al. Cardiac magnetic resonance perfusion imaging for the functional assessment of coronary artery disease: a comparison with coronary angiography and fractional flow reserve. *Eur Heart J* 2006;27:1465-1471
62. Watkins S, McGeoch R, Lyne J, Steedman T, Good R, McLaughlin MJ, et al. Validation of magnetic resonance myocardial perfusion imaging with fractional flow reserve for the detection of significant coronary heart disease. *Circulation* 2009;120:2207-2213
63. Groothuis JG, Beek AM, Brinckman SL, Meijerink MR, van den Oever ML, Hofman MB, et al. Combined non-invasive functional and anatomical diagnostic work-up in clinical practice: the magnetic resonance and computed tomography in suspected coronary artery disease (MARCC) study. *Eur Heart J* 2013;34:1990-1998
64. Jaarsma C, Leiner T, Bekkers SC, Crijns HJ, Wildberger JE, Nagel E, et al. Diagnostic performance of noninvasive myocardial perfusion imaging using single-photon emission computed tomography, cardiac magnetic resonance, and positron emission tomography imaging for the detection of obstructive coronary artery disease: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:1719-1728

65. Barner HB, Standeven JW, Reese J. Twelve-year experience with internal mammary artery for coronary artery bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1985;90:668-675
66. Bryan AJ, Angelini GD. The biology of saphenous vein graft occlusion: etiology and strategies for prevention. *Curr Opin Cardiol* 1994;9:641-649
67. Cameron AA, Davis KB, Rogers WJ. Recurrence of angina after coronary artery bypass surgery: predictors and prognosis (CASS Registry). Coronary Artery Surgery Study. *J Am Coll Cardiol* 1995;26:895-899
68. Galjee MA, van Rossum AC, Doesburg T, van Eenige MJ, Visser CA. Value of magnetic resonance imaging in assessing patency and function of coronary artery bypass grafts. An angiographically controlled study. *Circulation* 1996;93:660-666
69. Langerak SE, Vliegen HW, de Roos A, Zwinderman AH, Jukema JW, Kunz P, et al. Detection of vein graft disease using high-resolution magnetic resonance angiography. *Circulation* 2002;105:328-333
70. De Cobelli F, Cappio S, Vanzulli A, Del Maschio A. MRI assessment of coronary stents. *Rays* 1999;24:140-148
71. Duerinckx AJ, Atkinson D, Hurwitz R. Assessment of coronary artery patency after stent placement using magnetic resonance angiography. *J Magn Reson Imaging* 1998;8:896-902
72. Sardanelli F, Zandrino F, Molinari G, Iozzelli A, Balbi M, Barsotti A. MR evaluation of coronary stents with navigator echo and breath-hold cine gradient-echo techniques. *Eur Radiol* 2002;12:193-200
73. De Cobelli F, Guidetti D, Vanzulli A, Mellone R, Chierchia S, Del Maschio A. [Magnetic resonance angiography of coronary arteries: assessment in patients with coronary stenosis and control after stent positioning]. *Radiol Med* 1998;95:54-61
74. Duerinckx AJ, Atkinson D, Hurwitz R, Mintonovitch J, Whitney W. Coronary MR angiography after coronary stent placement. *AJR Am J Roentgenol* 1995;165:662-664
75. Fleisher LA; American College of Cardiology/American Heart Association. Cardiac risk stratification for noncardiac surgery: update from the American College of Cardiology/American Heart Association 2007 guidelines. *Cleve Clin J Med* 2009;76 Suppl 4:S9-S15
76. Fleisher LA, Beckman JA, Brown KA, Calkins H, Chaikof E, Fleischmann KE, et al. ACC/AHA 2007 Guidelines on Perioperative Cardiovascular Evaluation and Care for Noncardiac Surgery: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 2002 Guidelines on Perioperative Cardiovascular Evaluation for Noncardiac Surgery): Developed in Collaboration With the American Society of Echocardiography, American Society of Nuclear Cardiology, Heart Rhythm Society, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society for Vascular Medicine and Biology, and Society for Vascular Surgery. *Circulation* 2007;116:1971-1996
77. Fleisher LA, Beckman JA, Brown KA, Calkins H, Chaikof EL, Fleischmann KE, et al. ACC/AHA 2007 guidelines on perioperative cardiovascular evaluation and care for noncardiac surgery: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 2002 Guidelines on Perioperative Cardiovascular Evaluation for Noncardiac Surgery) developed in collaboration with the American Society of Echocardiography, American Society of Nuclear Cardiology, Heart Rhythm Society, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society for Vascular Medicine and Biology, and Society for Vascular Surgery. *J Am Coll Cardiol* 2007;50:e159-e241
78. Freeman WK, Gibbons RJ. Perioperative cardiovascular assessment of patients undergoing noncardiac surgery. *Mayo Clin Proc* 2009;84:79-90
79. Holt NF. Perioperative cardiac risk reduction. *Am Fam Physician* 2012;85:239-246
80. Nelson CL, Herndon JE, Mark DB, Pryor DB, Califf RM, Hlatky MA. Relation of clinical and angiographic factors to functional capacity as measured by the Duke Activity Status Index. *Am J Cardiol* 1991;68:973-975
81. Fathala A, Hassan W. Role of multimodality cardiac imaging in preoperative cardiovascular evaluation before noncardiac surgery. *Ann Card Anaesth* 2011;14:134-145

82. Shah DJ, Kim HW, Kim RJ. Evaluation of ischemic heart disease. *Heart Fail Clin* 2009;5:315-332, v
83. Mavrogeni S, Papadopoulos G, Karanasios E, Cokkinos DV. How to image Kawasaki disease: a validation of different imaging techniques. *Int J Cardiol* 2008;124:27-31
84. Greil GF, Stuber M, Botnar RM, Kissinger KV, Geva T, Newburger JW, et al. Coronary magnetic resonance angiography in adolescents and young adults with kawasaki disease. *Circulation* 2002;105:908-911
85. Mavrogeni S, Papadopoulos G, Douskou M, Kaklis S, Seimenis I, Baras P, et al. Magnetic resonance angiography is equivalent to X-ray coronary angiography for the evaluation of coronary arteries in Kawasaki disease. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:649-652
86. Mavrogeni S, Papadopoulos G, Douskou M, Kaklis S, Seimenis I, Varlamis G, et al. Magnetic resonance angiography, function and viability evaluation in patients with Kawasaki disease. *J Cardiovasc Magn Reson* 2006;8:493-498
87. Greil GF, Seeger A, Miller S, Claussen CD, Hofbeck M, Botnar RM, et al. Coronary magnetic resonance angiography and vessel wall imaging in children with Kawasaki disease. *Pediatr Radiol* 2007;37:666-673
88. Ferket BS, Genders TS, Colkesen EB, Visser JJ, Spronk S, Steyerberg EW, et al. Systematic review of guidelines on imaging of asymptomatic coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2011;57:1591-1600
89. Choi KM, Kim RJ, Gubernikoff G, Vargas JD, Parker M, Judd RM. Transmural extent of acute myocardial infarction predicts long-term improvement in contractile function. *Circulation* 2001;104:1101-1107
90. Kim RJ, Wu E, Rafael A, Chen EL, Parker MA, Simonetti O, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000;343:1445-1453
91. Romero J, Kahan J, Kelesidis I, Makani H, Wever-Pinzon O, Medina H, et al. CMR imaging for the evaluation of myocardial stunning after acute myocardial infarction: a meta-analysis of prospective trials. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:1080-1091
92. Chan RH, Leung AA, Manning WJ. Prognostic utility of late gadolinium enhancement cardiac magnetic resonance imaging in coronary artery disease: a meta-analysis. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013;15(Suppl 1):075
93. Romero J, Xue X, Gonzalez W, Garcia MJ. CMR imaging assessing viability in patients with chronic ventricular dysfunction due to coronary artery disease: a meta-analysis of prospective trials. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:494-508
94. Selvanayagam JB, Kardos A, Francis JM, Wiesmann F, Petersen SE, Taggart DP, et al. Value of delayed-enhancement cardiovascular magnetic resonance imaging in predicting myocardial viability after surgical revascularization. *Circulation* 2004;110:1535-1541
95. Trent RJ, Waiter GD, Hillis GS, McKiddie FI, Redpath TW, Walton S. Dobutamine magnetic resonance imaging as a predictor of myocardial functional recovery after revascularisation. *Heart* 2000;83:40-46
96. Crean A, Khan SN, Davies LC, Coulden R, Dutka DP. Assessment of Myocardial Scar; Comparison Between F-FDG PET, CMR and Tc-Sestamibi. *Clin Med Cardiol* 2009;3:69-76
97. Roes SD, Kaandorp TA, Marsan NA, Westenberg JJ, Dibbets-Schneider P, Stokkel MP, et al. Agreement and disagreement between contrast-enhanced magnetic resonance imaging and nuclear imaging for assessment of myocardial viability. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2009;36:594-601
98. Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA, Elliott MD, Regenfus M, Parker M, et al. Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *Lancet* 2003;361:374-379
99. Heijenbrok-Kal MH, Fleischmann KE, Hunink MG. Stress echocardiography, stress single-photon-emission computed tomography and electron beam computed tomography for the assessment of coronary artery disease: a meta-analysis of diagnostic performance. *Am Heart J* 2007;154:415-423
100. Eitel I, Desch S, de Waha S, Fuernau G, Gutberlet M, Schuler G, et al. Long-term prognostic value of myocardial salvage assessed by cardiovascular magnetic resonance in acute reperfused myocardial infarction. *Heart*

- 2011;97:2038-2045
101. Eitel I, Desch S, Fuernau G, Hildebrand L, Gutberlet M, Schuler G, et al. Prognostic significance and determinants of myocardial salvage assessed by cardiovascular magnetic resonance in acute reperfused myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:2470-2479
 102. Selvanayagam JB, Porto I, Channon K, Petersen SE, Francis JM, Neubauer S, et al. Troponin elevation after percutaneous coronary intervention directly represents the extent of irreversible myocardial injury: insights from cardiovascular magnetic resonance imaging. *Circulation* 2005;111:1027-1032
 103. McMurray JJ, Adamopoulos S, Anker SD, Auricchio A, Böhm M, Dickstein K, et al. ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012: The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2012 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 2012;33:1787-1847
 104. Fonseca C. Diagnosis of heart failure in primary care. *Heart Fail Rev* 2006;11:95-107
 105. Kelder JC, Cramer MJ, van Wijngaarden J, van Tooren R, Mosterd A, Moons KG, et al. The diagnostic value of physical examination and additional testing in primary care patients with suspected heart failure. *Circulation* 2011;124:2865-2873
 106. Assomull RG, Shakespeare C, Kalra PR, Lloyd G, Gulati A, Strange J, et al. Role of cardiovascular magnetic resonance as a gatekeeper to invasive coronary angiography in patients presenting with heart failure of unknown etiology. *Circulation* 2011;124:1351-1360
 107. Bellenger NG, Burgess MI, Ray SG, Lahiri A, Coats AJ, Cleland JG, et al. Comparison of left ventricular ejection fraction and volumes in heart failure by echocardiography, radionuclide ventriculography and cardiovascular magnetic resonance; are they interchangeable? *Eur Heart J* 2000;21:1387-1396
 108. Bristow MR, Gilbert EM, Abraham WT, Adams KF, Fowler MB, Hershelberger RE, et al. Carvedilol produces dose-related improvements in left ventricular function and survival in subjects with chronic heart failure. MOCHA Investigators. *Circulation* 1996;94:2807-2816
 109. Capomolla S, Febo O, Gnemmi M, Riccardi G, Opasich C, Caporotondi A, et al. Beta-blockade therapy in chronic heart failure: diastolic function and mitral regurgitation improvement by carvedilol. *Am Heart J* 2000;139:596-608
 110. Doughty RN, Whalley GA, Walsh HA, Gamble GD, López-Sendón J, Sharpe N; CAPRICORN Echo Substudy Investigators. Effects of carvedilol on left ventricular remodeling after acute myocardial infarction: the CAPRICORN Echo Substudy. *Circulation* 2004;109:201-206
 111. Alfakih K, Reid S, Jones T, Sivananthan M. Assessment of ventricular function and mass by cardiac magnetic resonance imaging. *Eur Radiol* 2004;14:1813-1822
 112. Grothues F, Moon JC, Bellenger NG, Smith GS, Klein HU, Pennell DJ. Interstudy reproducibility of right ventricular volumes, function, and mass with cardiovascular magnetic resonance. *Am Heart J* 2004;147:218-223
 113. Grothues F, Smith GC, Moon JC, Bellenger NG, Collins P, Klein HU, et al. Comparison of interstudy reproducibility of cardiovascular magnetic resonance with two-dimensional echocardiography in normal subjects and in patients with heart failure or left ventricular hypertrophy. *Am J Cardiol* 2002;90:29-34
 114. Holman ER, Buller VG, de Roos A, van der Geest RJ, Baur LH, van der Laarse A, et al. Detection and quantification of dysfunctional myocardium by magnetic resonance imaging. A new three-dimensional method for quantitative wall-thickening analysis. *Circulation* 1997;95:924-931
 115. Jenkins C, Moir S, Chan J, Rakhit D, Haluska B, Marwick TH. Left ventricular volume measurement with echocardiography: a comparison of left ventricular opacification, three-dimensional echocardiography, or both with magnetic resonance imaging. *Eur Heart J* 2009;30:98-106
 116. Bellenger NG, Davies LC, Francis JM, Coats AJ, Pennell DJ. Reduction in sample size for studies of remodeling in heart failure by the use of cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 2000;2:271-278
 117. Hamilton-Craig C, Strugnell WE, Raffel OC, Porto I, Walters DL, Slaughter RE. CT angiography with cardiac MRI:

- non-invasive functional and anatomical assessment for the etiology in newly diagnosed heart failure. *Int J Cardiovasc Imaging* 2012;28:1111-1122
118. Kim YJ, Kim RJ. The role of cardiac MR in new-onset heart failure. *Curr Cardiol Rep* 2011;13:185-193
119. Valle-Muñoz A, Estornell-Erill J, Soriano-Navarro CJ, Nadal-Barange M, Martinez-Alzamora N, Pomar-Domingo F, et al. Late gadolinium enhancement-cardiovascular magnetic resonance identifies coronary artery disease as the aetiology of left ventricular dysfunction in acute new-onset congestive heart failure. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:968-974
120. Bluemke DA, Kronmal RA, Lima JA, Liu K, Olson J, Burke GL, et al. The relationship of left ventricular mass and geometry to incident cardiovascular events: the MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis) study. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:2148-2155
121. Olivetto I, Maron MS, Autore C, Lesser JR, Rega L, Casolo G, et al. Assessment and significance of left ventricular mass by cardiovascular magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:559-566
122. Follath F, Cleland JG, Klein W, Murphy R. Etiology and response to drug treatment in heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1998;32:1167-1172
123. Mahrholdt H, Wagner A, Judd RM, Sechtem U, Kim RJ. Delayed enhancement cardiovascular magnetic resonance assessment of non-ischaemic cardiomyopathies. *Eur Heart J* 2005;26:1461-1474
124. Kim KH, Kim HK, Hwang IC, Lee SP, Park EA, Lee W, et al. Myocardial scarring on cardiovascular magnetic resonance in asymptomatic or minimally symptomatic patients with "pure" apical hypertrophic cardiomyopathy. *J Cardiovasc Magn Reson* 2012;14:52
125. Choudhury L, Mahrholdt H, Wagner A, Choi KM, Elliott MD, Klocke FJ, et al. Myocardial scarring in asymptomatic or mildly symptomatic patients with hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2002;40:2156-2164
126. Moon JC, Sachdev B, Elkington AG, McKenna WJ, Mehta A, Pennell DJ, et al. Gadolinium enhanced cardiovascular magnetic resonance in Anderson-Fabry disease. Evidence for a disease specific abnormality of the myocardial interstitium. *Eur Heart J* 2003;24:2151-2155
127. Patel MR, Cawley PJ, Heitner JF, Klem I, Parker MA, Jaroudi WA, et al. Detection of myocardial damage in patients with sarcoidosis. *Circulation* 2009;120:1969-1977
128. Maceira AM, Joshi J, Prasad SK, Moon JC, Perugini E, Harding I, et al. Cardiovascular magnetic resonance in cardiac amyloidosis. *Circulation* 2005;111:186-193
129. Friedrich MG, Strohm O, Schulz-Menger J, Marciniak H, Luft FC, Dietz R. Contrast media-enhanced magnetic resonance imaging visualizes myocardial changes in the course of viral myocarditis. *Circulation* 1998;97:1802-1809
130. Mahrholdt H, Goedecke C, Wagner A, Meinhardt G, Athanasiadis A, Vogelsberg H, et al. Cardiovascular magnetic resonance assessment of human myocarditis: a comparison to histology and molecular pathology. *Circulation* 2004;109:1250-1258
131. Klem I, Shah DJ, White RD, Pennell DJ, van Rossum AC, Regenfus M, et al. Prognostic value of routine cardiac magnetic resonance assessment of left ventricular ejection fraction and myocardial damage: an international, multicenter study. *Circ Cardiovasc Imaging* 2011;4:610-619
132. Joshi SB, Connelly KA, Jimenez-Juan L, Hansen M, Kirpalani A, Dorian P, et al. Potential clinical impact of cardiovascular magnetic resonance assessment of ejection fraction on eligibility for cardioverter defibrillator implantation. *J Cardiovasc Magn Reson* 2012;14:69
133. Klem I, Weinsaft JW, Bahnson TD, Hegland D, Kim HW, Hayes B, et al. Assessment of myocardial scarring improves risk stratification in patients evaluated for cardiac defibrillator implantation. *J Am Coll Cardiol* 2012;60:408-420
134. Gao P, Yee R, Gula L, Krahn AD, Skanes A, Leong-Sit P, et al. Prediction of arrhythmic events in ischemic and dilated cardiomyopathy patients referred for implantable cardiac defibrillator: evaluation of multiple scar quantification measures for late gadolinium enhancement magnetic resonance imaging. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;5:448-456
135. Delgado V, van Bommel RJ, Bertini M, Borleffs CJ, Marsan NA, Arnold CT, et al. Relative merits of left ventricu-

- lar dyssynchrony, left ventricular lead position, and myocardial scar to predict long-term survival of ischemic heart failure patients undergoing cardiac resynchronization therapy. *Circulation* 2011;123:70-78
136. Leyva F, Foley PW. Current and future role of cardiovascular magnetic resonance in cardiac resynchronization therapy. *Heart Fail Rev* 2011;16:251-262
 137. Leyva F, Foley PW, Chalil S, Ratib K, Smith RE, Prinzen F, et al. Cardiac resynchronization therapy guided by late gadolinium-enhancement cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 2011;13:29
 138. Dickfeld T, Tian J, Ahmad G, Jimenez A, Turgeman A, Kuk R, et al. MRI-Guided ventricular tachycardia ablation: integration of late gadolinium-enhanced 3D scar in patients with implantable cardioverter-defibrillators. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2011;4:172-184
 139. Junttila MJ, Fishman JE, Lopera GA, Pattany PM, Velazquez DL, Williams AR, et al. Safety of serial MRI in patients with implantable cardioverter defibrillators. *Heart* 2011;97:1852-1856
 140. Bogaert J, Kuzo R, Dymarkowski S, Janssen L, Celis I, Budts W, et al. Follow-up of patients with previous treatment for coarctation of the thoracic aorta: comparison between contrast-enhanced MR angiography and fast spin-echo MR imaging. *Eur Radiol* 2000;10:1847-1854
 141. Chessa M, Carrozza M, Butera G, Piazza L, Negura DG, Bussadori C, et al. Results and mid-long-term follow-up of stent implantation for native and recurrent coarctation of the aorta. *Eur Heart J* 2005;26:2728-2732
 142. Hassan W, Awad M, Fawzy ME, Omrani AA, Malik S, Akhras N, et al. Long-term effects of balloon angioplasty on left ventricular hypertrophy in adolescent and adult patients with native coarctation of the aorta. Up to 18 years follow-up results. *Catheter Cardiovasc Interv* 2007;70:881-886
 143. Geva T, Greil GF, Marshall AC, Landzberg M, Powell AJ. Gadolinium-enhanced 3-dimensional magnetic resonance angiography of pulmonary blood supply in patients with complex pulmonary stenosis or atresia: comparison with x-ray angiography. *Circulation* 2002;106:473-478
 144. Prasad SK, Soukias N, Hornung T, Khan M, Pennell DJ, Gatzoulis MA, et al. Role of magnetic resonance angiography in the diagnosis of major aortopulmonary collateral arteries and partial anomalous pulmonary venous drainage. *Circulation* 2004;109:207-214
 145. Baumgartner D, Baumgartner C, Mátyás G, Steinmann B, Löffler-Ragg J, Schermer E, et al. Diagnostic power of aortic elastic properties in young patients with Marfan syndrome. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005;129:730-739
 146. Fattori R, Bacchi Reggiani L, Pepe G, Napoli G, Bnà C, Celletti F, et al. Magnetic resonance imaging evaluation of aortic elastic properties as early expression of Marfan syndrome. *J Cardiovasc Magn Reson* 2000;2:251-256
 147. Geva T, Vick GW 3rd, Wendt RE, Rokey R. Role of spin echo and cine magnetic resonance imaging in presurgical planning of heterotaxy syndrome. Comparison with echocardiography and catheterization. *Circulation* 1994;90:348-356
 148. Salehian O, Schwerzmann M, Merchant N, Webb GD, Siu SC, Therrien J. Assessment of systemic right ventricular function in patients with transposition of the great arteries using the myocardial performance index: comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *Circulation* 2004;110:3229-3233
 149. Warnes CA. Transposition of the great arteries. *Circulation* 2006;114:2699-2709
 150. Rutledge JM, Nihill MR, Fraser CD, Smith OE, McMahon CJ, Bezold LI. Outcome of 121 patients with congenitally corrected transposition of the great arteries. *Pediatr Cardiol* 2002;23:137-145
 151. Beerbaum P, Körperich H, Gieseke J, Barth P, Peuster M, Meyer H. Rapid left-to-right shunt quantification in children by phase-contrast magnetic resonance imaging combined with sensitivity encoding (SENSE). *Circulation* 2003;108:1355-1361
 152. Didier D, Higgins CB. Identification and localization of ventricular septal defect by gated magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol* 1986;57:1363-1368
 153. Hundley WG, Li HF, Lange RA, Pfeifer DP, Meshack BM, Willard JE, et al. Assessment of left-to-right intracardiac shunting by velocity-encoded, phase-difference magnetic resonance imaging. A comparison with oximetric

- and indicator dilution techniques. *Circulation* 1995;91: 2955-2960
154. Körperich H, Gieseke J, Barth P, Hoogeveen R, Esdorn H, Peterschröder A, et al. Flow volume and shunt quantification in pediatric congenital heart disease by real-time magnetic resonance velocity mapping: a validation study. *Circulation* 2004;109:1987-1993
155. American College of Cardiology; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to revise the 1998 guidelines for the management of patients with valvular heart disease); Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Bonow RO, Carabello BA, Chatterjee K, et al. ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing Committee to Revise the 1998 guidelines for the management of patients with valvular heart disease) developed in collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists endorsed by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions and the Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol* 2006;48: e1-e148
156. Apitz C, Webb GD, Redington AN. Tetralogy of Fallot. *Lancet* 2009;374:1462-1471
157. Rebergen SA, Chin JG, Ottenkamp J, van der Wall EE, de Roos A. Pulmonary regurgitation in the late postoperative follow-up of tetralogy of Fallot. Volumetric quantitation by nuclear magnetic resonance velocity mapping. *Circulation* 1993;88(5 Pt 1):2257-2266
158. Oosterhof T, van Straten A, Vliegen HW, Meijboom FJ, van Dijk AP, Spijkerboer AM, et al. Preoperative thresholds for pulmonary valve replacement in patients with corrected tetralogy of Fallot using cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 2007;116:545-551
159. Therrien J, Provost Y, Merchant N, Williams W, Colman J, Webb G. Optimal timing for pulmonary valve replacement in adults after tetralogy of Fallot repair. *Am J Cardiol* 2005;95:779-782
160. Babu-Narayan SV, Kilner PJ, Li W, Moon JC, Goktekin O, Davlouros PA, et al. Ventricular fibrosis suggested by cardiovascular magnetic resonance in adults with repaired tetralogy of fallot and its relationship to adverse markers of clinical outcome. *Circulation* 2006;113:405-413
161. Davlouros PA, Kilner PJ, Hornung TS, Li W, Francis JM, Moon JC, et al. Right ventricular function in adults with repaired tetralogy of Fallot assessed with cardiovascular magnetic resonance imaging: detrimental role of right ventricular outflow aneurysms or akinesia and adverse right-to-left ventricular interaction. *J Am Coll Cardiol* 2002;40:2044-2052
162. Attenhofer Jost CH, Edmister WD, Julsrud PR, Dearani JA, Savas Tepe M, Warnes CA, et al. Prospective comparison of echocardiography versus cardiac magnetic resonance imaging in patients with Ebstein's anomaly. *Int J Cardiovasc Imaging* 2012;28:1147-1159
163. Yalonsky S, Tobler D, Greutmann M, Crean AM, Wintersperger BJ, Nguyen ET, et al. Cardiac magnetic resonance imaging and the assessment of ebstein anomaly in adults. *Am J Cardiol* 2011;107:767-773
164. Grothoff M, Spors B, Abdul-Khaliq H, Gutberlet M. Evaluation of postoperative pulmonary regurgitation after surgical repair of tetralogy of Fallot: comparison between Doppler echocardiography and MR velocity mapping. *Pediatr Radiol* 2008;38:186-191
165. Lemmer J, Heise G, Rentzsch A, Boettler P, Kuehne T, Dubowy KO, et al. Right ventricular function in grown-up patients after correction of congenital right heart disease. *Clin Res Cardiol* 2011;100:289-296
166. Roest AA, Helbing WA, Kunz P, van den Aardweg JG, Lamb HJ, Vliegen HW, et al. Exercise MR imaging in the assessment of pulmonary regurgitation and biventricular function in patients after tetralogy of fallot repair. *Radiology* 2002;223:204-211
167. Oosterhof T, Mulder BJ, Vliegen HW, de Roos A. Corrected tetralogy of Fallot: delayed enhancement in right ventricular outflow tract. *Radiology* 2005;237:868-871
168. Oosterhof T, Mulder BJ, Vliegen HW, de Roos A. Cardiovascular magnetic resonance in the follow-up of patients with corrected tetralogy of Fallot: a review. *Am Heart J* 2006;151:265-272
169. Fogel MA, Weinberg PM, Chin AJ, Fellows KE, Hoffman EA. Late ventricular geometry and performance changes of functional single ventricle throughout staged Fontan

- reconstruction assessed by magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 1996;28:212-221
170. Garg R, Powell AJ, Sena L, Marshall AC, Geva T. Effects of metallic implants on magnetic resonance imaging evaluation of Fontan palliation. *Am J Cardiol* 2005;95:688-691
 171. Grosse-Wortmann L, Al-Otay A, Yoo SJ. Aortopulmonary collaterals after bidirectional cavopulmonary connection or Fontan completion: quantification with MRI. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:219-225
 172. Taylor AM, Dymarkowski S, Hamaekers P, Razavi R, Gewillig M, Mertens L, et al. MR coronary angiography and late-enhancement myocardial MR in children who underwent arterial switch surgery for transposition of great arteries. *Radiology* 2005;234:542-547
 173. Cawley PJ, Maki JH, Otto CM. Cardiovascular magnetic resonance imaging for valvular heart disease: technique and validation. *Circulation* 2009;119:468-478
 174. Caruthers SD, Lin SJ, Brown P, Watkins MP, Williams TA, Lehr KA, et al. Practical value of cardiac magnetic resonance imaging for clinical quantification of aortic valve stenosis: comparison with echocardiography. *Circulation* 2003;108:2236-2243
 175. Cawley PJ, Hamilton-Craig C, Owens DS, Krieger EV, Strugnell WE, Mitsumori L, et al. Prospective comparison of valve regurgitation quantitation by cardiac magnetic resonance imaging and transthoracic echocardiography. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:48-57
 176. Djavidani B, Debl K, Lenhart M, Seitz J, Paetzel C, Schmid FX, et al. Planimetry of mitral valve stenosis by magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:2048-2053
 177. Honda N, Machida K, Hashimoto M, Mamiya T, Takahashi T, Kamano T, et al. Aortic regurgitation: quantitation with MR imaging velocity mapping. *Radiology* 1993;186:189-194
 178. Kon MW, Myerson SG, Moat NE, Pennell DJ. Quantification of regurgitant fraction in mitral regurgitation by cardiovascular magnetic resonance: comparison of techniques. *J Heart Valve Dis* 2004;13:600-607
 179. Ley S, Eichhorn J, Ley-Zaporozhan J, Ulmer H, Schenk JP, Kauczor HU, et al. Evaluation of aortic regurgitation in congenital heart disease: value of MR imaging in comparison to echocardiography. *Pediatr Radiol* 2007;37:426-436
 180. Søndergaard L, Hildebrandt P, Lindvig K, Thomsen C, Ståhlberg F, Kassis E, et al. Valve area and cardiac output in aortic stenosis: quantification by magnetic resonance velocity mapping. *Am Heart J* 1993;126:1156-1164
 181. Lee C, Kim YM, Lee CH, Kwak JG, Park CS, Song JY, et al. Outcomes of pulmonary valve replacement in 170 patients with chronic pulmonary regurgitation after relief of right ventricular outflow tract obstruction: implications for optimal timing of pulmonary valve replacement. *J Am Coll Cardiol* 2012;60:1005-1014
 182. Sarikouch S, Koerperich H, Dubowy KO, Boethig D, Boettler P, Mir TS, et al. Impact of gender and age on cardiovascular function late after repair of tetralogy of Fallot: percentiles based on cardiac magnetic resonance. *Circ Cardiovasc Imaging* 2011;4:703-711
 183. Koca B, Öztunç F, Eroğlu AG, Gökalp S, Dursun M, Yilmaz R. Evaluation of right ventricular function in patients with tetralogy of Fallot using the myocardial performance index and isovolumic acceleration: a comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *Cardiol Young* 2014;24:422-429
 184. Mercer-Rosa L, Yang W, Kutty S, Rychik J, Fogel M, Goldmuntz E. Quantifying pulmonary regurgitation and right ventricular function in surgically repaired tetralogy of Fallot: a comparative analysis of echocardiography and magnetic resonance imaging. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;5:637-643
 185. Botnar R, Nagel E, Scheidegger MB, Pedersen EM, Hess O, Boesiger P. Assessment of prosthetic aortic valve performance by magnetic resonance velocity imaging. *MAGMA* 2000;10:18-26
 186. Kozerke S, Hasenkam JM, Nygaard H, Paulsen PK, Pedersen EM, Boesiger P. Heart motion-adapted MR velocity mapping of blood velocity distribution downstream of aortic valve prostheses: initial experience. *Radiology* 2001;218:548-555
 187. von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Rudolph A, Wassmuth R, Bohl S, Buschmann EE, Abdel-Aty H, et al. Feasibility of cardiovascular magnetic resonance to assess the ori-

- face area of aortic bioprostheses. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:397-404, 402 p following 404
188. Marcus FI, McKenna WJ, Sherrill D, Basso C, Bauce B, Bluemke DA, et al. Diagnosis of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia: proposed modification of the Task Force Criteria. *Eur Heart J* 2010;31:806-814
189. Keller DI, Osswald S, Bremerich J, Bongartz G, Cron TA, Hilti P, et al. Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy: diagnostic and prognostic value of the cardiac MRI in relation to arrhythmia-free survival. *Int J Cardiovasc Imaging* 2003;19:537-543; discussion 545-547
190. Tandri H, Saranathan M, Rodriguez ER, Martinez C, Bomma C, Nasir K, et al. Noninvasive detection of myocardial fibrosis in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy using delayed-enhancement magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:98-103
191. Sen-Chowdhry S, Prasad SK, Syrris P, Wage R, Ward D, Merrifield R, et al. Cardiovascular magnetic resonance in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy revisited: comparison with task force criteria and genotype. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:2132-2140
192. Hosch W, Kristen AV, Libicher M, Dengler TJ, Aulmann S, Heye T, et al. Late enhancement in cardiac amyloidosis: correlation of MRI enhancement pattern with histopathological findings. *Amyloid* 2008;15:196-204
193. 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
194. Vogelsberg H, Mahrholdt H, Deluigi CC, Yilmaz A, Kispert EM, Greulich S, et al. Cardiovascular magnetic resonance in clinically suspected cardiac amyloidosis: noninvasive imaging compared to endomyocardial biopsy. *J Am Coll Cardiol* 2008;51:1022-1030
195. Shimada T, Shimada K, Sakane T, Ochiai K, Tsukihashi H, Fukui M, et al. Diagnosis of cardiac sarcoidosis and evaluation of the effects of steroid therapy by gadolinium-DTPA-enhanced magnetic resonance imaging. *Am J Med* 2001;110:520-527
196. Fallah-Rad N, Walker JR, Wassef A, Lytwyn M, Bohonis S, Fang T, et al. The utility of cardiac biomarkers, tissue velocity and strain imaging, and cardiac magnetic resonance imaging in predicting early left ventricular dysfunction in patients with human epidermal growth factor receptor II-positive breast cancer treated with adjuvant trastuzumab therapy. *J Am Coll Cardiol* 2011;57:2263-2270
197. Oechslin EN, Attenhofer Jost CH, Rojas JR, Kaufmann PA, Jenni R. Long-term follow-up of 34 adults with isolated left ventricular noncompaction: a distinct cardiomyopathy with poor prognosis. *J Am Coll Cardiol* 2000;36:493-500
198. Petersen SE, Selvanayagam JB, Wiesmann F, Robson MD, Francis JM, Anderson RH, et al. Left ventricular noncompaction: insights from cardiovascular magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;46:101-105
199. Haghi D, Fluechter S, Suselbeck T, Kaden JJ, Borggrefe M, Papavassiliu T. Cardiovascular magnetic resonance findings in typical versus atypical forms of the acute apical ballooning syndrome (Takotsubo cardiomyopathy). *Int J Cardiol* 2007;120:205-211
200. Mitchell JH, Hadden TB, Wilson JM, Achari A, Muthupillai R, Flamm SD. Clinical features and usefulness of cardiac magnetic resonance imaging in assessing myocardial viability and prognosis in Takotsubo cardiomyopathy (transient left ventricular apical ballooning syndrome). *Am J Cardiol* 2007;100:296-301
201. Sharkey SW, Lesser JR, Zenovich AG, Maron MS, Lindberg J, Longe TF, et al. Acute and reversible cardiomyopathy provoked by stress in women from the United States. *Circulation* 2005;111:472-479
202. Jeserich M, Brunner E, Kandolf R, Olschewski M, Kimmel S, Friedrich MG, et al. Diagnosis of viral myocarditis by cardiac magnetic resonance and viral genome detection in peripheral blood. *Int J Cardiovasc Imaging* 2013;29:121-129
203. Monney PA, Sekhri N, Burchell T, Knight C, Davies C, Deaner A, et al. Acute myocarditis presenting as acute coronary syndrome: role of early cardiac magnetic resonance in its diagnosis. *Heart* 2011;97:1312-1318
204. Marian AJ, Roberts R. The molecular genetic basis for hypertrophic cardiomyopathy. *J Mol Cell Cardiol* 2001;33:655-670

205. Maron MS, Lesser JR, Maron BJ. Management implications of massive left ventricular hypertrophy in hypertrophic cardiomyopathy significantly underestimated by echocardiography but identified by cardiovascular magnetic resonance. *Am J Cardiol* 2010;105:1842-1843
206. Maron MS, Maron BJ, Harrigan C, Burows J, Gibson CM, Olivetto I, et al. Hypertrophic cardiomyopathy phenotype revisited after 50 years with cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol* 2009;54:220-228
207. Moon JC, Fisher NG, McKenna WJ, Pennell DJ. Detection of apical hypertrophic cardiomyopathy by cardiovascular magnetic resonance in patients with non-diagnostic echocardiography. *Heart* 2004;90:645-649
208. Rickers C, Wilke NM, Jerosch-Herold M, Casey SA, Panse P, Panse N, et al. Utility of cardiac magnetic resonance imaging in the diagnosis of hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation* 2005;112:855-861
209. Minami Y, Kajimoto K, Terajima Y, Yashiro B, Okayama D, Haruki S, et al. Clinical implications of midventricular obstruction in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2011;57:2346-2355
210. Adabag AS, Maron BJ, Appelbaum E, Harrigan CJ, Burows JL, Gibson CM, et al. Occurrence and frequency of arrhythmias in hypertrophic cardiomyopathy in relation to delayed enhancement on cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol* 2008;51:1369-1374
211. Maron MS, Hauser TH, Dubrow E, Horst TA, Kissinger KV, Udelson JE, et al. Right ventricular involvement in hypertrophic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2007;100:1293-1298
212. Rudolph A, Abdel-Aty H, Bohl S, Boyé P, Zagrosek A, Dietz R, et al. Noninvasive detection of fibrosis applying contrast-enhanced cardiac magnetic resonance in different forms of left ventricular hypertrophy relation to remodeling. *J Am Coll Cardiol* 2009;53:284-291
213. Flett AS, Hasleton J, Cook C, Hausenloy D, Quarta G, Ariti C, et al. Evaluation of techniques for the quantification of myocardial scar of differing etiology using cardiac magnetic resonance. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011;4:150-156
214. Moon JC, Reed E, Sheppard MN, Elkington AG, Ho SY, Burke M, et al. The histologic basis of late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:2260-2264
215. Moravsky G, Ofek E, Rakowski H, Butany J, Williams L, Ralph-Edwards A, et al. Myocardial fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy: accurate reflection of histopathological findings by CMR. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013;6:587-596
216. Bruder O, Wagner A, Jensen CJ, Schneider S, Ong P, Kispert EM, et al. Myocardial scar visualized by cardiovascular magnetic resonance imaging predicts major adverse events in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:875-887
217. Green JJ, Berger JS, Kramer CM, Salerno M. Prognostic value of late gadolinium enhancement in clinical outcomes for hypertrophic cardiomyopathy. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:370-377
218. Ismail TF, Prasad SK, Pennell DJ. Prognostic importance of late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance in cardiomyopathy. *Heart* 2012;98:438-442
219. Maron MS, Appelbaum E, Harrigan CJ, Burows J, Gibson CM, Hanna C, et al. Clinical profile and significance of delayed enhancement in hypertrophic cardiomyopathy. *Circ Heart Fail* 2008;1:184-191
220. O'Hanlon R, Grasso A, Roughton M, Moon JC, Clark S, Wage R, et al. Prognostic significance of myocardial fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:867-874
221. Rubinshtein R, Glockner JF, Ommen SR, Araoz PA, Ackerman MJ, Sorajja P, et al. Characteristics and clinical significance of late gadolinium enhancement by contrast-enhanced magnetic resonance imaging in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Circ Heart Fail* 2010;3:51-58
222. Moon JC, McKenna WJ, McCrohon JA, Elliott PM, Smith GC, Pennell DJ. Toward clinical risk assessment in hypertrophic cardiomyopathy with gadolinium cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:1561-1567
223. Fluechter S, Kuschyk J, Wolpert C, Doesch C, Veltmann C, Haghi D, et al. Extent of late gadolinium enhancement

- detected by cardiovascular magnetic resonance correlates with the inducibility of ventricular tachyarrhythmia in hypertrophic cardiomyopathy. *J Cardiovasc Magn Reson* 2010;12:30
224. To AC, Dhillon A, Desai MY. Cardiac magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011;4:1123-1137
225. Germans T, Wilde AA, Dijkmans PA, Chai W, Kamp O, Pinto YM, et al. Structural abnormalities of the inferoseptal left ventricular wall detected by cardiac magnetic resonance imaging in carriers of hypertrophic cardiomyopathy mutations. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:2518-2523
226. Maron MS, Rowin EJ, Lin D, Appelbaum E, Chan RH, Gibson CM, et al. Prevalence and clinical profile of myocardial crypts in hypertrophic cardiomyopathy. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;5:441-447
227. Maron MS, Olivetto I, Harrigan C, Appelbaum E, Gibson CM, Lesser JR, et al. Mitral valve abnormalities identified by cardiovascular magnetic resonance represent a primary phenotypic expression of hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation* 2011;124:40-47
228. Rowin EJ, Maron MS, Lesser JR, Maron BJ. CMR with late gadolinium enhancement in genotype positive-phenotype negative hypertrophic cardiomyopathy. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:119-122
229. Hong YJ, Hur J, Kim YJ, Lee HJ, Nam JE, Kim HY, et al. The usefulness of delayed contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance imaging in differentiating cardiac tumors from thrombi in stroke patients. *Int J Cardiovasc Imaging* 2011;27 Suppl 1:89-95
230. Mollet NR, Dymarkowski S, Volders W, Wathiong J, Herbots L, Rademakers FE, et al. Visualization of ventricular thrombi with contrast-enhanced magnetic resonance imaging in patients with ischemic heart disease. *Circulation* 2002;106:2873-2876
231. Weinsaft JW, Kim HW, Crowley AL, Klem I, Shenoy C, Van Assche L, et al. LV thrombus detection by routine echocardiography: insights into performance characteristics using delayed enhancement CMR. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011;4:702-712
232. Weinsaft JW, Kim RJ, Ross M, Krauser D, Manoushagian S, LaBounty TM, et al. Contrast-enhanced anatomic imaging as compared to contrast-enhanced tissue characterization for detection of left ventricular thrombus. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2:969-979
233. Fieno DS, Saouaf R, Thomson LE, Abidov A, Friedman JD, Berman DS. Cardiovascular magnetic resonance of primary tumors of the heart: a review. *J Cardiovasc Magn Reson* 2006;8:839-853
234. Gulati G, Sharma S, Kothari SS, Juneja R, Saxena A, Talwar KK. Comparison of echo and MRI in the imaging evaluation of intracardiac masses. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2004;27:459-469
235. Motwani M, Kidambi A, Herzog BA, Uddin A, Greenwood JP, Plein S. MR imaging of cardiac tumors and masses: a review of methods and clinical applications. *Radiology* 2013;268:26-43
236. Axel L. Assessment of pericardial disease by magnetic resonance and computed tomography. *J Magn Reson Imaging* 2004;19:816-826
237. Francone M, Dymarkowski S, Kalantzi M, Rademakers FE, Bogaert J. Assessment of ventricular coupling with real-time cine MRI and its value to differentiate constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy. *Eur Radiol* 2006;16:944-951
238. Mastouri R, Sawada SG, Mahenthiran J. Noninvasive imaging techniques of constrictive pericarditis. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 2010;8:1335-1347
239. Zurick AO, Bolen MA, Kwon DH, Tan CD, Popovic ZB, Rajeswaran J, et al. Pericardial delayed hyperenhancement with CMR imaging in patients with constrictive pericarditis undergoing surgical pericardiectomy: a case series with histopathological correlation. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011;4:1180-1191
240. Shiga T, Wajima Z, Apfel CC, Inoue T, Ohe Y. Diagnostic accuracy of transesophageal echocardiography, helical computed tomography, and magnetic resonance imaging for suspected thoracic aortic dissection: systematic review and meta-analysis. *Arch Intern Med* 2006;166:1350-1356
241. Kato R, Lickfett L, Meininger G, Dickfeld T, Wu R, Juang G, et al. Pulmonary vein anatomy in patients undergoing catheter ablation of atrial fibrillation: lessons learned by use of magnetic resonance imaging. *Circulation* 2003;

107:2004-2010

242. Lacomis JM, Pealer K, Fuhrman CR, Barley D, Wigginton W, Schwartzman D. Direct comparison of computed tomography and magnetic resonance imaging for characterization of posterior left atrial morphology. *J Interv Card Electrophysiol* 2006;16:7-13
243. Mansour M, Refaat M, Heist EK, Mela T, Cury R, Holmvang G, et al. Three-dimensional anatomy of the left atrium by magnetic resonance angiography: implications for catheter ablation for atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2006;17:719-723
244. Durongpisitkul K, Tang NL, Soongswang J, Laohaprasitporn D, Nana A, Kangkagate C. Cardiac magnetic resonance imaging of atrial septal defect for transcatheter closure. *J Med Assoc Thai* 2002;85 Suppl 2:S658-S666
245. Weber C, Weber M, Ekin O, Neumann T, Deetjen A, Rolf A, et al. Atrial septal defects type II: noninvasive evaluation of patients before implantation of an Amplatzer Septal Occluder and on follow-up by magnetic resonance imaging compared with TEE and invasive measurement. *Eur Radiol* 2008;18:2406-2413
246. Thomson LE, Crowley AL, Heitner JF, Cawley PJ, Weinsaft JW, Kim HW, et al. Direct en face imaging of secundum atrial septal defects by velocity-encoded cardiovascular magnetic resonance in patients evaluated for possible transcatheter closure. *Circ Cardiovasc Imaging* 2008;1:31-40
247. La Manna A, Sanfilippo A, Capodanno D, Salemi A, Polizzi G, Deste W, et al. Cardiovascular magnetic resonance for the assessment of patients undergoing transcatheter aortic valve implantation: a pilot study. *J Cardiovasc Magn Reson* 2011;13:82

심혈관 자기공명영상 사용에 대한 2014 권고안: 대한심장학회와 대한영상의학회 공동 보고서¹

윤연이^{1*} · 홍유진^{2*} · 김형관³ · 김정아⁴ · 나진오⁵ · 양동현⁶ · 김영진² · 최의영⁷

최근 기술적 발전에 힘입어 자기공명영상의 사용이 꾸준히 증가하고 있으며 자기공명영상을 통한 심장질환 진단의 비율이 높아지고 있으나 현재 심장질환에서 자기공명영상의 적절한 사용에 대한 진료지침이 없는 실정이다. 이 권고안은 다양한 심장질환에서 심장 자기공명영상의 적절한 사용을 위하여 근거에 기반한 우리나라 실정에 맞는 권고안을 마련함으로써 심장 자기공명영상을 이용하는 의사와 환자에게 도움을 주고자 개발되었다. 이 권고안은 대한심장학회와 대한영상의학회가 공동 집필하였다.

¹분당서울대학교병원 심장내과, ²연세대학교 의과대학 세브란스병원 영상의학과, ³서울대학교 의과대학 서울대학교병원 심장내과,

⁴인제대학교 의과대학 일산백병원 영상의학과, ⁵고려대학교 의과대학 구로병원 심장내과,

⁶울산대학교 의과대학 아산병원 영상의학과, ⁷연세대학교 의과대학 강남세브란스병원 심장내과

*두 명의 저자가 동일하게 기여함.