

## 심장 CT의 최신지견: 임상적용 관점에서

연세대학교 의과대학 심장내과

조인정 · 장혁재

### Current Update and Clinical Applications of Cardiac CT

In-Jeong Cho and Hyuk-Jae Chang

Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

#### 서 론

심장혈관 질환은 국내외를 막론해 현대사회의 주요 성인 사망 원인 중 하나이다. 지난 한 세대 간 심장혈관 질환으로 인한 증상이 발생하여 내원한 환자의 치료 성적은 진단 및 치료 기술의 발전으로 인해 개선이 되었음에도 불구하고, 심근경색이나 돌연사의 발생 빈도 자체는 줄어들지 않고 있다. 따라서, 보다 적극적으로 관상동맥 질환을 조기에 진단하고 치료하여 심근경색이나 사망과 같은 치명적인 심혈관계 사건의 발생을 줄이고자 하는 목적하에 다양한 비침습적 검사 방법들이 임상에 도입되어 사용되고 있다. 현재 관상동맥 질환을 진단하는 과정에서 일차적 검사로 사용되는 것은 혈역학적으로 유의한 관상동맥 협착을 발견하기 위한 운동 또는 약물부하 검사(stress test)이다. 그러나 부하 검사, 특히 심장 핵의학 검사, 심장 초음파 검사 등 비침습적 영상기술에 기반한 부하 검사의 빈도가 지난 십여년 간 비약적으로 증가하였음에도 같은 기간 동안 심근경색의 발생 빈도에는 큰 차

이가 없어, 이러한 비침습적 영상 검사들의 효과에 대하여 회의적인 입장도 많은 형편이다[1]. 이러한 결과를 나타낸 근본 원인 중 하나는 부하 검사가 기본적으로 혈역학적으로 유의한 관상동맥 질환 유무를 진단하는 검사인 반면 급성심근경색의 2/3는 혈역학적으로 유의하지 않은 50% 미만의 협착 병변에서 발생한다는 사실이다[2].

1990년대 후반 여러 개의 검출기를 장착한 MDCT (multi-detector computed tomography)가 등장하면서 빠른 기술의 진보를 통해 심장 CT는 관상동맥의 동맥경화반을 비침습적으로 평가할 수 있는 가용한 유일한 검사 방법으로 자리매김하였으며, 관상동맥 협착의 중증도외에 협착 부위 및 비협착 관상동맥경화 유무와 동맥경화반의 특성에 대해 종합적인 정보를 제공해 준다. 또한 심장 CT를 이용하여 관상동맥 협착을 평가하는 것은 기존의 혈관조영술과 비교할 때 민감도와 특이도가 매우 높고 음성예측도는 95-99%에 달한다고 보고된 바[3], 심장 CT는 단기간 내 심장혈관 질환의 평가를 위한 주요 검사 도구로 자리매김 하였다. 따라서 본 의학강좌

Correspondence to Hyuk-Jae Chang, M.D., Ph.D.

Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Yonsei University College of medicine, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea

Tel: +82-2-2228-8454, Fax: +82-2-393-2041, E-mail: hjchang@yuhs.ac

Copyright © 2013 The Korean Association of Internal Medicine

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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에서는 임상가가 심장 CT 검사를 적용하기 위한 관점에서 해당검사와 관련한 최신 지견을 살펴보고, 실제 환자들에게 적용시 고려해야 할 점들에 대하여 살펴보고자 한다.

### 급성 흉통 환자에서의 심장 CT적용

급성 흉통으로 응급실로 내원한 환자에서 심전도상 관상동맥 질환을 시사하는 특이소견은 없으나 급성 관상동맥 증후군을 배제할 수 없는 경우 진단을 위한 일반적인 과정은 다음과 같다: 응급실 체류 또는 입원을 한 상태에서 심전도 및 심장표지자를 반복적으로 측정해 이러한 검사들에서 특이사항이 없고 흉통이 재발하지 않을 경우 부하 검사를 시행해 그 결과에 따라 치료방침 또는 퇴원여부를 결정한다(Fig. 1) [4]. 그러나 이러한 과정 중에 입원한 환자들의 상당수가 급성 관상동맥 증후군이 아닌 것으로 진단되어 결과적으로 불필요한 입원을 하게 되며, 반대로 일부 환자에서는 제대로 된 진단을 받지 못해 부적절하게 퇴원을 하는 경우도 적지 않아 문제가 있다[5].

심장 CT는 관상동맥 질환을 감별해 내는 데 있어 민감도가 높을 뿐 아니라 유의한 관상동맥 질환이 없음을 판별하는 음성 예측률이 매우 높아 급성 흉통 환자의 치명적 원인인 관상동맥 질환을 배제하는 데 있어 가장 효용성이 높은 것으로 여겨지고 있다. 실제 관상동맥 질환의 위험도가 낮은 환자군을 대상으로 응급실에서 관상동맥 질환을 배제하기 위한

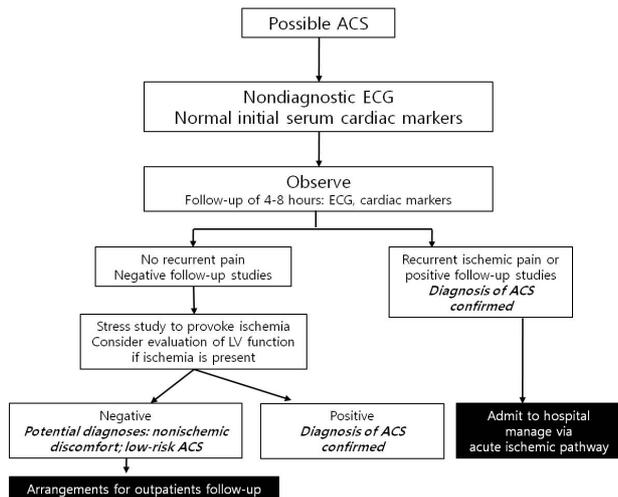
목적으로 심장 CT를 적용하였을 때 진단까지의 시간 및 비용을 현저하게 줄일 수 있었으며[6], 우리나라 의료상황에서도 대다수 환자에서 심장 CT를 초기 검사로 도입하였을 경우 불필요한 입원을 효과적으로 감소시킬 수 있었다[7]. 또한 이러한 효용성을 명확히 확인하기 위한 대규모 전향적 다기관 연구에서 실제 임상에서 심장 CT를 응급실에 내원한 중등도 이하의 위험도를 보이는 흉통 환자를 대상으로 초기 검사로 도입하였을 때 응급실에서 조기퇴원을 증가시켜 입원 기간을 단축시킬 수 있었으며, 동시에 심장 CT에서 유의한 협착이 없었던 환자의 경우 응급실 방문 후 한 달여 기간 추적 관찰한 결과 심근 경색이나 사망과 같은 심혈관 사건이 발생하는 것은 매우 드물다고 보고되어 이러한 용도로의 심장 CT 사용에 따른 안정성도 입증되었다 할 수 있다[8,9].

따라서 급성 관상동맥 증후군이 의심되는 흉통을 주소로 응급실에 내원한 환자 중에서 관상동맥 질환의 위험도가 중등도 이하이고, 심전도 검사나 심장표지자 검사에서 특이소견을 보이지 않는 환자들을 대상으로 초기 검사로 심장 CT를 적용하는 것은 적절하다고 볼 수 있다(Table 1) [10]. 심장 CT를 시행하는 경우 재원 시간의 단축은 있었으나, 방사선 노출이 증가하고, 추가적인 검사에 따라 전체 치료 비용은 줄이지 못했다는 부정적인 측면도 동시에 보고된 바 있어 CT 적용 결정 시 이에 대한 고려가 함께 필요하겠다[9]. 또한, 심장 CT 결과에서 퇴원이 가능한 정상 또는 경증협착 환자나 입원치료가 필요한 중증 협착 환자와 달리 중등도(25-75%)의 협착을 보이는 환자들의 경우 합당한 부가적인 검사 및 치료 과정에 대해서는 추가 연구가 필요하다 하겠다.

### 흉통을 주소로 외래를 방문한 환자에서의 심장 CT 적용

외래에서 협심증이 의심되는 흉통을 증상을 주소로 내원한 환자에 있어 현재 통용되는 임상진로지침에서 관상동맥 질환의 평가를 위한 초기 진단 검사로 우선적으로 제시되고 있는 것은 운동부하심전도 및 다른 부하 영상 검사이다(Table 2) [11].

심장 CT의 최근 연구 결과에 따르면 해당 환자군에서 추적관찰 시 사망률은 관상동맥에 50% 이상의 유의한 협착이 있는 군뿐 아니라, 50% 미만의 협착만 보이는 환자의 경우에서도 관상동맥 질환이 전혀 없는 사람에 비해 사망률이



**Figure 1.** Algorithm for the evaluation and management of patients suspected of having an acute coronary syndrome (ACS) [4].

**Table 1. Detection of coronary artery disease (CAD) in symptomatic patients without known heart disease [10]**

		Appropriate use score		
Nonacute symptoms possibly representing an ischemic equivalent				
Pretest Probability of CAD		Low	Intermediate	High
1	• ECG interpretable AND • Able to exercise	U	A	I
2	• ECG uninterpretable OR • Unable to exercise	A	A	U
Acute symptoms with suspicion of ACS (urgent presentation)				
3	• Definite MI		I	
4	• Persistent ECG ST-segment elevation following exclusion of MI		U	
5	• Acute chest pain of uncertain cause (differential diagnosis includes pulmonary embolism, aortic dissection, and ACS [“triple rule out”])		U	
Pretest probability of CAD		Low	Intermediate	High
6	• Normal ECG and cardiac biomarkers	A	A	U
7	• ECG uninterpretable	A	A	U
8	• Nondiagnostic ECG OR • Equivocal cardiac biomarkers	A	A	U

All indications are for CT angiography.  
A, appropriate; I, inappropriate; U, uncertain.

**Table 2. Recommendations for routine non-invasive investigations in diagnosis of stable angina [11]**

Test	Class of indication	Level of evidence
Exercise ECG		
• First line for initial evaluation, unless unable to exercise/ECG not evaluable	I	B
Exercise imaging technique (echo or radionuclide)		
• Initial evaluation in patients with uninterpretable ECG	I	B
• Patients with non-conclusive exercise test (but adequate exercise tolerance)	I	B
Pharmacologic stress imaging technique		
• Patients unable to exercise	I	B
• Patients with non-conclusive exercise due to poor exercise tolerance	I	B
Non-invasive CT arteriography		
• Patients with low probability of disease and non-conclusive or positive stress test	IIb	C

Class I, Evidence and/or general agreement that a given diagnostic procedure/treatment is beneficial, useful, and effective; Class II, Conflicting evidence and/or divergence of opinion about the usefulness/efficacy of the treatment or procedure; Class IIb, evidence/efficacy is less well established by evidence/opinion; Level of evidence B, Data derived from a single randomized clinical trial or large non randomized studies; Level of evidence C, Consensus of opinion of the experts and/or small studies, retrospective studies, registries.

유의하게 높은 것으로 보고되었다[12]. 이러한 결과는 50% 미만의 경한 관상동맥 협착도 임상적으로 유의하며, 과거 보고된 급성심근경색의 다수가 50% 미만의 협착에서 발생한다는 사실과도 맥을 같이한다.

또한, 관상동맥 질환이 의심되는 환자를 대상으로 기존의

임상적 평가또는 관상동맥 칼슘수치 검사를 통해 예후를 예측하는 방식에 비해, 임상적 평가와 함께 심장 CT 결과를 추가하였을 경우 보다 효과적으로 해당 환자의 예후를 예측할 수 있음이 알려져 있다[13].

이러한 연구결과를 바탕으로 최근에는 심장 CT를 운동부

**Table 3. Detection of coronary artery disease (CAD)/risk assessment in asymptomatic patients without known CAD [10]**

Noncontrast CT for coronary calcium score			
Global CHD risk estimate	Low	Intermediate	High
• Family history of premature CHD	A		
• Asymptomatic	I	A	U
• No known CAD			
Coronary CT angiography			
Global CHD risk estimate	Low	Intermediate	High
• Asymptomatic	I	I	U
• No known CAD			

A, appropriate; I, inappropriate; U, uncertain.

하심전도나 심근관류영상과 같은 기존 부하 검사를 대신하여 관상동맥 질환 진단의 초기 진단 검사로서 시행하는 것이 비용대비 효과가 높을 것이라는 주장도 대두되고 있다. 실제로, 운동부하심전도와 심장 CT 검사를 함께 시행한 환자의 결과를 분석하였을 때, 운동부하심전도의 결과가 양성이든 음성이든 심장 CT 검사를 추가할 때 환자의 심혈관 사건을 더욱 효과적으로 예측할 수 있었던 반면, 특히 심장 CT에서 유의한 협착이 없었던 환자들 경우에는 운동부하심전도 결과와 관계없이 양호한 경과를 보였다[14].

따라서 협심증이 의심되는 증상으로 내원한 환자에서 관상동맥 질환의 가능성이 중등도인 환자 또는 심전도 판독이 애매하거나 운동이 불가능한 저위험군 환자들 경우에는 관상동맥 질환 평가를 위해 심장 CT를 시행하는 것은 적절하다 할 수 있다(Table 2).

이러한 환자들에서는 보다 적극적으로 일차 검사로 심장 CT를 먼저 시행하고, 그 결과가 중등도나 애매한 정도의 협착을 보이는 경우에 한하여 부하 검사를 추가로 시행하는 것을 고려할 수도 있겠으나 이는 관련비용 및 CT 검사에 따른 안전성 측면에서 해당방식의 임상적 효용성을 검증하는 대규모 전향적 연구가 필요하다 하겠다.

### 무증상 환자에서 심혈관계 사건의 고위험군 판별을 위한 심장 CT 검사

현재까지 임상진료지침에서는 무증상군에서 관상동맥 평가를 위한 심장 CT의 사용은 바람직하지 않은 것으로 언급하고 있으며, 심혈관 위험도에 따라 일부 환자에서 비조영 CT 검사인 관상동맥 칼슘수치 측정만을 권유하고 있다(Table 3).

그러나 최근 유증상 환자에서 심장 CT의 적용을 통해 긍정적인 연구결과들이 속속 발표되고 건강검진 시장이 팽창됨에 따라 심장 CT를 무증상의 고위험군에 적용하여 관상동맥 위험도를 평가하고자 하는 시도로 관련 연구결과가 계속 발표되고 있다[15,16].

현재 무증상군에서 잠복성 occult 관상동맥 질환을 발견하기 위한 선별 검사로 가장 흔히 사용되고 연구 결과가 많이 발표된 검사 방법은 비조영 CT를 활용한 관상동맥 칼슘수치 측정 및 초음파를 활용한 경동맥 내중막 두께의 측정이다. 심장 CT를 활용한 관상동맥조영술은 관상동맥 칼슘수치와는 달리 칼슘을 포함하지 않는 경화반에 대한 검사가 가능하다는 점과 직접적으로 관상동맥을 볼 수 있어 경화반의 심한 정도 및 위치에 대한 판단이 가능하다는 점 등으로 인하여, 기존 방법에 비하여 더 효과적으로 위험도를 평가할 수 있지 않을까 하는 희망적인 기대가 있으며 실제로, 건강검진 목적으로 무증상 상태에서 심장 CT를 시행한 사람들을 대상으로 검사 결과를 분석한 결과, 무증상군에서도 50% 이상의 관상동맥 협착이 5%에서 75% 이상의 협착은 2%에서 발견되어 증상이 없다 할지라도 여전히 무시할 수 없는 정도로 유의한 관상동맥 질환이 발견되는 것으로 알려져 있으며[16], 증상유무에 관계없이 심장 CT에서 혈관에 질병 정도가 심해질수록 사망률이나 심혈관 사건의 빈도가 높아진다는 예후 추적연구 결과 또한 발표된 바 있다[15].

그러나 기존의 심혈관계 위험인자에 기반한 임상적 평가에 심장 CT를 추가하여 환자의 예후 판정을 평가하는 방식은 기존 방식인 관상동맥 칼슘측정 검사를 통해 예후를 평가한 것과 비교하여 유의한 차이를 보이지는 못하였고, 더불어 심장 CT는 조영제 사용 및 방사선 노출이라는 불가피한

한계로 인해 앞서 두 가지 임상상황에 비해 위험도가 현저히 낮은 무증상 환자군에서 심장 CT가 기존 방식인 관상동맥 칼슘측정 검사를 대체할 수 있을지는 여전히 미지수이다. 또한, 한 연구결과에 따르면 무증상군에서 심장 CT를 시행하는 경우 시행하지 않은 군에 비하여, 심혈관 사건의 예후에는 두 군 간에 큰 차이가 없었음에도 불구하고, 심장 CT를 시행한 군에서 스타틴이나 아스피린 같은 약물 사용이 늘고 추가 검사 및 심혈관성형술 등의 시술이 증가하는 것으로 보고된 바 있어, 해당방식이 무증상 성인의 예후를 향상시킨다는 증거가 없는 상황에서 해당 군에서의 심장 CT 사용은 불필요한 검사나 치료를 유발할 가능성이 있어 조심스런 접근이 필요하다 [17].

### 심장 CT 검사에 따른 우려: 방사선 피폭과 관련 비용

심장 CT의 사용에 있어 가장 우려되는 문제 중 하나는 검사에 불가피하게 수반되는 방사선 피폭과 관련하여 발생할 수 있는 암에 관한 문제이다. 일반적으로 10 mSV 정도의 방사선 용량은 2,000건당 1명의 암 발생을 증가시킨다고 알려져 있으나, 성별이나 연령에 따라 미치는 영향은 다양할 수 있다. 최근 연구에 따르면, 심장 CT를 1회 시행했을 경우 예상되는 암 추가 발생 가능성은 나이나 연령에 따라 편차가 크다(20대 여성: 143명당 1명, 80대 남성: 3,261명당 1명) [18]. 주로 영향을 많이 받는 장기는 심장에 인접한 폐였으며, 젊은 여성의 경우는 유방에도 피폭이 되어 젊은 여성은 암 추가 발생 가능성이 특히 높은 군이라 할 수 있으며 따라서 이러한 환자에서 심장 CT의 적용은 더욱 주의가 필요하다.

심장 CT에서 방사선 피폭량은 환자의 몸무게, 부정맥 등 교정 불가능한 요인 외에도 영상획득 프로토콜, 검사장비, 검사 시행자의 경험 및 월간 시행 횟수 등 교정 가능한 기술적 측면에도 크게 영향을 받는다고 알려져 최근 시장에 등장한 CT장비의 경우 적절한 영상획득 프로토콜을 채용할 때 기존 64절편 CT장비에서 고식적으로 시행한 검사대비 약 1/10 미만의 방사선 피폭으로 검사를 수행할 수 있는 바 방사선 피폭을 줄이기 위한 각 검사실의 효과적인 전략의 개발 및 세심한 주의가 동시에 필요하다고 할 수 있다[19].

심장 CT 검사에 따라 고려해야 할 또 한 가지 중요한 사항은 추가 검사에 따른 비용 문제이다. 이는 사실상 모든 비침습적 검사에 공통적인 사항이라 할 수 있으나 심장 CT 검

사가 관상동맥 질환에 대한 민감하면서 직관적인 검사결과를 제공하기 때문에 더욱 문제가 된다 할 수 있다.

심장 CT는 검사 결과가 정상인 경우에는 추가 검사를 필요로 하지 않지만, 검사 결과 협착 정도가 애매하거나 유의한 협착 소견이 보이는 경우에는 결국 추가적인 부하 검사나 혈관조영술을 필요로 하기 때문에 전체적인 국가의료비용을 증가시킬 수 있는 가능성이 있다. 실제 미국에서의 연구 결과를 보면, 심근 관류 스캔에 비하여 심장 CT를 시행한 군에서 혈관조영술, 심혈관 성형술, 관상동맥 우회술의 빈도가 증가하였고, 결과적으로 총 의료 비용이 증가하였다고 보고되었다[20]. 따라서 심장 CT를 임상에서 실제로 적용할 때 단순히 진단이나 위험도 평가의 효율성뿐 아니라 관련비용 및 위험도에 대한 충분한 고려 또한 함께 필요하다.

## 결 론

심장 CT는 급성 관상동맥 증후군이 의심되는 응급실 환자 중 관상동맥 질환의 위험도가 중등도 이하이고, 심전도 검사나 심장표지자 검사에서 특이소견을 보이지 않는 환자들을 대상으로 초기 선별 검사로 유용하게 사용될 수 있다. 외래에서 협심증이 의심되는 증상을 주소로 내원한 환자의 관상동맥 질환 평가를 위해서는 관상동맥 질환의 중등도의 위험성을 보이는 군에서 심장 CT를 운동부하심전도나 심근 관류영상의 결과 또는 비용대비 효과를 고려하여 초기 검사로 이용하는 것을 고려할 수 있다. 그러나 심혈관 증상이 없는 군에서는 기존의 방식에 비하여 심장 CT가 우월한 결과를 보이지는 못한 반면 추가 검사 또는 약물 사용 및 시술만 증가시킬 우려가 있어, 이러한 군에게 관상동맥 질환의 위험도 평가를 위해 심장 CT를 사용하는 것은 아직까지는 적절하지 못하다고 생각된다. 심장 CT는 관련기술 발전에 힘입어 가장 짧은 기간 내에 임상에서 필수불가결한 검사로 자리매김 하였음에도 방사능 피폭과 관련 의료비용 증가에 대한 우려 또한 있는 것이 사실이다.

그럼에도 불구하고 심장 CT 검사는 과거에 생리적 부하 검사에 의존해 오던 비침습적 심혈관 질환 진단에 새로운 장을 열었다 할 수 있으며 향후 추가적인 많은 연구와 관련 기술의 발전을 통해, 심혈관 질환의 진단과 치료를 위해 필수장비로 더욱 안전하고 효과적으로 사용될 수 있으리라 기대된다.

**중심 단어:** 관상동맥 질환; 심장 전산화단층촬영

## REFERENCES

1. Lucas FL, DeLorenzo MA, Siewers AE, Wennberg DE. Temporal trends in the utilization of diagnostic testing and treatments for cardiovascular disease in the United States, 1993-2001. *Circulation* 2006;113:374-379.
2. Falk E, Shah PK, Fuster V. Coronary plaque disruption. *Circulation* 1995;92:657-671.
3. Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1724-1732.
4. Braunwald E, Antman EM, Beasley JW, et al. ACC/AHA guidelines for the management of patients with unstable angina and non-ST-segment elevation myocardial infarction: executive summary and recommendations: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on practice guidelines (committee on the management of patients with unstable angina). *Circulation* 2000;102:1193-1209.
5. Chang HJ, Chung N. Clinical perspective of coronary computed tomographic angiography in diagnosis of coronary artery disease. *Circ J* 2011;75:246-252.
6. Goldstein JA, Gallagher MJ, O'Neill WW, Ross MA, O'Neil BJ, Raff GL. A randomized controlled trial of multi-slice coronary computed tomography for evaluation of acute chest pain. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:863-871.
7. Chang SA, Choi SI, Choi EK, et al. Usefulness of 64-slice multidetector computed tomography as an initial diagnostic approach in patients with acute chest pain. *Am Heart J* 2008;156:375-383.
8. Litt HI, Gatsonis C, Snyder B, et al. CT angiography for safe discharge of patients with possible acute coronary syndromes. *N Engl J Med* 2012;366:1393-1403.
9. Hoffmann U, Truong QA, Schoenfeld DA, et al. Coronary CT angiography versus standard evaluation in acute chest pain. *N Engl J Med* 2012;367:299-308.
10. Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM, et al. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010 appropriate use criteria for cardiac computed tomography: a report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the American College of Radiology, the American Heart Association, the American Society of Echocardiography, the American Society of Nuclear Cardiology, the North American Society for Cardiovascular Imaging, the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:1864-1894.
11. Fox K, Garcia MA, Ardissino D, et al. Guidelines on the management of stable angina pectoris: executive summary: the Task Force on the Management of Stable Angina Pectoris of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2006;27:1341-1381.
12. Min JK, Shaw LJ, Devereux RB, et al. Prognostic value of multidetector coronary computed tomographic angiography for prediction of all-cause mortality. *J Am Coll Cardiol* 2007;50:1161-1170.
13. Ostrom MP, Gopal A, Ahmadi N, et al. Mortality incidence and the severity of coronary atherosclerosis assessed by computed tomography angiography. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1335-1343.
14. Cho I, Shim J, Chang HJ, et al. Prognostic value of multi-detector coronary computed tomography angiography in relation to exercise electrocardiogram in patients with suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2012;60:2205-2215.
15. Cho I, Chang HJ, Sung JM, et al. Coronary computed tomographic angiography and risk of all-cause mortality and nonfatal myocardial infarction in subjects without chest pain syndrome from the CONFIRM Registry (coronary CT angiography evaluation for clinical outcomes: an international multicenter registry). *Circulation* 2012;126:304-313.
16. Choi EK, Choi SI, Rivera JJ, et al. Coronary computed tomography angiography as a screening tool for the detection of occult coronary artery disease in asymptomatic individuals. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:357-365.
17. McEvoy JW, Blaha MJ, Nasir K, et al. Impact of coronary computed tomographic angiography results on patient and physician behavior in a low-risk population. *Arch Intern Med* 2011;171:1260-1268.
18. Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA* 2007;298:317-323.
19. Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography. *JAMA* 2009;301:500-507.
20. Shreibati JB, Baker LC, Hlatky MA. Association of coronary CT angiography or stress testing with subsequent utilization and spending among Medicare beneficiaries. *JAMA* 2011;306:2128-2136.