

관상동맥질환의 예후 및 위험도 평가

전북대학교 의학전문대학원 핵의학교실, 임상의학연구소, 사이클로트론연구소
임석태

Assessment of Prognosis and Risk Stratification in Coronary Artery Disease

Seok Tae Lim, M.D.

Department of Nuclear Medicine, Research Institute of Clinical Medicine, and Cyclotron Research Center, Chonbuk National University Medical School and Hospital, Jeonju, Korea

Risk stratification and assessment of prognosis in patients with known or suspected CAD is of crucial important for the practice of contemporary medicine. Noninvasive testing such as myocardial perfusion scintigraphy, coronary artery calcium scoring or CT coronary angiography is increasingly being used to determine the need for aggressive medical therapy and to select patients for catheterization. The integrated anatomic and functional information may provide more additional information for the cardiologist or other clinician by the improved risk stratification and diagnostic accuracy of integrated techniques. The development of SPECT/CT or PET/CT hybrid systems is therefore of important value for the nuclear cardiology. (Nucl Med Mol Imaging 2009;43(3):222-228)

Key Words: Prognosis, risk stratification, myocardial perfusion scintigraphy, coronary artery disease

서 론

다양한 방사성의약품을 사용한 부하 심근관류영상 (myocardial perfusion scintigraphy; MPS)이 관상동맥질환을 시사하는 증상이나 징후를 가진 환자에서 진단 및 예후 평가에 필수적인 검사로 그 동안 사용되어 왔다.¹⁻³⁾ 최근에 다절편전산화단층촬영(multidetector row computed tomography; MDCT)을 이용한 심장 전산화단층촬영(CT coronary angiography; CTA)이 관상동맥질환을 시사하는 증상을 가진 환자의 진단에 있어 MPS에 새로운 강력한 보완 또는 대체 검사로 이용이 증가하는 추세이다.⁴⁻⁷⁾

관상동맥질환은 정도에 따라 무증상에서부터 비치명적인 심근 경색, 심한 심부전, 심장사와 같은 다양한 정도 및 범위의 결과를 야기하는 질환으로 많은 연구에서 침습적인 관상동맥조영술이 관상동맥질환을 진단하는데 있어 금과옥조로 이용되지만 협착정도가 경계부위(50~70% 협착)의

동맥경화성 병변의 생리적 중요성과 같은 정보를 제공하기가 어려워 위험도 평가에는 이상적이지 못한 것으로 알려져 있다.⁸⁾ 임상적 소견이나 안정시 심전도에 비하여 운동부하 심전도가 기능적 역량을 평가하여 예후 척도에 좀 더 도움이 되기는 하나 중등도의 관상동맥질환을 지닌 대부분의 환자에서는 부가적인 위험도 분류가 필요하다.^{9,10)} 관상동맥질환의 예후와 위험도 평가에 가장 필요한 검사법은 관상동맥우회술이나 경피적 관상동맥확장술 등 적극적인 치료가 필요한 고위험군과 약물요법 등 고식적인 치료만으로도 치료 효과가 있는 저위험군에 속하는 환자를 감별할 수 있는 방법일 것이다. 이러한 목적으로 이용되는 영상방법으로 MPS, 심장 PET/CT, 심장 CT, 심장 MRI 등이 있다. MPS는 관상동맥질환에서 심장사건의 발생에 위험도 및 환자의 예후를 객관적이고 정확하게 평가할 수 있어, 비용효과 측면에서 침습적이고 고가의 시술이 필요한 환자군을 감별하는데 효과적이며, 심장이외의 수술환자에서 수술 전 관상동맥질환의 평가에도 유용하게 이용되고 있다.

심근관류 신티그라피 (Myocardial perfusion scintigraphy)

1. 허혈성 관상동맥질환에서 위험도 평가

갑작스런 흉통을 발생한 응급한 경우에 위험심근 및 구제심근 평가를 통한 심근생존능 평가에 휴식기 MPS만 사

• Received: 2009. 6. 10. • Revised: 2009. 6. 18.
• Accepted: 2009. 6. 24.
• Address for reprints: Seok Tae Lim, M.D., Department of Nuclear Medicine, Chonbuk National University Medical School and Hospital, San 2-20 Geumam-dong Deokjin-gu, Jeonju, Jeonbuk 561-180, Korea
Tel: 82-63-250-1172, Fax: 82-63-255-1172
E-mail: stlim@chonbuk.ac.kr

Table 1. High Risk Parameters on Myocardial Perfusion Scintigraphy

- Extensive and/or severe reversible myocardial perfusion defects
- Transient ischemic dilation of the left ventricle
- Transient lung reuptake after stress
- Ischemia in the setting of prior myocardial infarction
- Substantially reduced LVEFa) on poststress study
- Decrease in LVEF between poststress and rest study
- Pattern of stunned myocardium on poststress study

a)left ventricular ejection fraction

용하는 경우를 제외하고는 운동이나 약물을 사용한 부하 게이트 MPS가 위험도 평가에 가장 많이 사용되는 비침습적인 검사로 알려져 있다.^{11,12)} 특히 심장사건 발생에 대한 임상적으로 중등도 위험도를 가진 환자에서 비용-효과면에서 가장 우수한 검사이다. 게이트 방법을 통하여 좌심실 박출계수(left ventricular ejection fraction: LVEF), 수축기 말 부피(endsystolic volume: ESV)와 좌심실에서의 일시적 허혈성 확장(transient ischemic dilation: TID) 등의 기능적 측정이 가능하여 위험도 평가에 유용성을 높이기 때문이다.¹³⁻¹⁵⁾ MPS는 단순하게 위험도 평가보다는 허혈의 경증도에 따라 관상동맥우회술이나 경피적 관상동맥확장술 등과 같은 적극적인 치료가 유익한 환자인지를 분류하는데 좀 더 가치가 있다고 할 수 있다.

많은 연구에서 정상관류스캔 소견을 보인 경우에는 연간 0.5~0.9%의 심장사건 발생률을 보여 비슷한 연령의 일반 인구에서의 심장사건 발생률과 유사한데 반하여 비정상적인 심근관류를 보인 경우에는 연간 5.1~7.4%의 심장사건 발생률을 보고하고 있다.¹⁶⁻²⁰⁾ 사용되는 방사성의약품에 따른 2~3년간 추적관찰시 연간 심장사건 발생률의 차이는 없으며, 관상동맥질환에 대한 검사전 예측치가 높은 경우 (>85%)나 혈관조영술에서 관상동맥질환이 확인된 경우라도 정상관류스캔을 보이다면 검사 후 1년간은 심각한 심장사건의 발생률은 1% 이하인 것으로 알려져 있다.^{8,21)} 하지만 3개의 관상동맥 모두가 심한 협착이 있으나 MPS에서는 정상을 보이는 balanced ischemia의 경우에는 심장사건에 대한 위험도가 높으나 실제로 balanced ischemia를 가진 환자는 매우 적기 때문에 충분한 부하를 주었는데도 정상관류스캔을 보인다면 심장사건의 발생률은 낮다고 할 수 있다. 반면에 정상스캔을 보이다라도 운동부하로 유발된 저혈압, 좌심실의 일시적 허혈성 확장, chronotropic incompetence 등을 있는 경우에는 위험도는 증가한다. 심근관류 영상을 보이는 경우 5년까지는 매우 낮은 심장사건 발생률을 보장할 수 있다는 연구보고도 있어, 미국 심장학회(ASNC)에서는 기술적인 어려움 없이 잘 시행된 심근관류

스캔에서 정상소견을 보이면 최소한 1년간은 관상동맥조영술을 시행할 필요가 없다고 권유하고 있다.

심근관류영상에서 좋지 않은 예후와 관련되는 인자 중 관류와 직접적인 관계가 있는 인자로는 가역적인 관류결손의 크기, 결손의 수, 심한 정도 등이고, 간접적인 관계가 있는 인자로는 좌심실 박출계수 감소, TI-201의 폐쇄취 증가, 부하후 일과성 좌심실강의 확장 등이 있다(Table 1). 심근경색의 과거력이 없는 관상동맥질환 환자에서 가장 강력한 예후 인자는 가역적인 관류결손, 즉 허혈의 존재 여부이다. 많은 연구에서 허혈 부위의 범위가 넓을수록, 관류결손 정도가 심할수록 예후가 나쁘지만, 심근경색의 기왕력이 있는 환자에서는 고정 관류결손의 범위가 크고 LVEF이 낮은 경우에 심장사의 발생률이 높으며, 매우 작은 관류결손을 보이는 경우는 정상 관류를 보이는 환자와 비슷하게 심장사건 발생률을 보인다고 보고하고 있다.^{1,3,6,11)} Hachmowitch 등²²⁾의 연구에서는 허혈의 크기가 재관류치료를 요청하게 되는 가장 강력한 인자이며 또한 재관류치료에 대한 생존이득에 대한 가장 우수한 예측인자이었다. 따라서 중등도 이상의 허혈의 존재하는 경우에는 위험심근의 범위를 줄이고 생존 가능성을 높이기 위하여 허혈심근부위에 대한 재관류치료를 고려해야 하겠다. 일반적으로 허혈의 크기가 재관류치료에 대한 이득에 대한 가장 중요한 예측인자인 반면에 부하시 관류결손의 크기가 가역적 또는 비가역적 결손 유무와 관계없이 사망률에 대한 가장 중요한 예측인자로 여겨지고 있다. 관류결손의 크기와 정도를 정량적으로 표현하는 방법은 극성지도상의 관류결손범위율과 증중도점수가 가장 많이 이용되나 부하점수합(summed stress score, SSS), 휴식기점수합(summed rest score, SRS), 차이점수합(summed difference score, SDS) 등을 사용하기도 한다. 같은 크기의 관류결손을 보이다라도 좌심실 기능이 나쁜 경우 더욱 불량한 예후를 보인다. 좌심실기능 저하를 나타내는 인자로 LVEF 감소, TID, TI-201의 폐쇄취 증가 등을 들 수 있다. Sharir 등²³⁾은 45% 이하의 LVEF은 심한 관류결손 뿐만 아니라 경증도의 관류 결손을 보인 환자에서도 독립적인 음성 예측 인자라고 하였다. 일과성 좌심실확장은 광범위한 심내막하 허혈을 반영한다고 판단되고 있으며 게이트 심근스캔이 보편화된 이후에는 심근의 관류 감소에 기인하여 좌심실벽의 운동능 저하가 나타나는 일시적인 심근기절 현상을 나타내는 소견으로 간주하고 있다. TI-201의 폐쇄취 증가는 폐포 모세혈관압이 증가된 것을 반영하는 지표로 부하후 일시적 좌심실강의 확장이나 폐쇄취증가 소견이 보이면 광범위한 질환이 있음을 시사하는 소견이다.

비용-효과 측면에서도 MPS가 관상동맥질환이 의심되거

나 있는 환자에서 위험도 평가에는 유용한 검사라고 할 수가 있다.²⁴⁾

2. 급성 관상동맥증후군에서 위험도 평가

심근경색 환자의 위험도 평가의 가장 중요한 목표는 생존력이 있으나 위험에 빠진 심근의 존재유무와 범위를 밝혀 경색 크기를 최소화하는 효율적인 치료를 시행하게 하여 향후의 심장사건이 발생할 가능성을 감소시키는 것이다. 급성심근경색으로부터 생존한 환자에서 퇴원하기 전에 심근경색 후 재경색이나 심장 관련 사망에 대한 위험도 평가로 비침습적인 운동부하 심전도검사(submaximal TMET)나 침습적인 관상동맥조영술이 이용되어 왔다. 아데노신이나 디피리다몰을 사용한 약물부하 MPS가 비침습적 검사로 위험도 평가에 있어서 전통적인 TMET 보다 우수한 검사이며 합병증이 동반되지 않는 급성 심근경색 후 2~4일에도 안전하게 사용할 수 있다.²⁵⁾ MPS가 경색 후 고위험 환자를 구분하는데 다른 검사보다 더 정확하게 경색부위와 허혈 심근을 구별할 수 있고 심근허혈이 있는 부위를 정확하게 결정할 수 있으며 심근생존능이 있는 위험부위를 찾아낼 수 있을 뿐 아니라 게이트 영상획득법으로 심장의 수축기능까지도 평가할 수 있다는 장점을 가지고 있어 가장 유용하게 사용할 수 있다.

MPS는 경색부위에 남아있는 위험한 생존심근을 찾을 수 있으므로 혈전용해술을 시행한 환자의 위험도 평가에 유용하나 혈전용해술을 성공적으로 시행한 환자에서는 심장사건 발생률이 매우 낮기 때문에 어떤 검사로도 심장사건 발생 확률이 높은 환자를 감별하는데 만족스럽지 못하다. 그러나 심근관류스캔은 혈전용해술의 효과가 의심스러운 경우 또는 흉통이 재발한 경우에 남아있는 심근허혈의 유무와 범위를 파악함으로써 위험에 빠진 심근을 구제할 수 있으므로 환자의 예후를 개선하는데 크게 도움이 된다. 급성심근경색이 발병한 후에 위험도 평가를 조기에 할 수 있다면 적절한 치료를 통해 심장사건을 예방하는데 도움이 될 것이다.

약물 치료에 초기 반응을 보이는 불안정 협심증 환자에서 운동 또는 약물 부하 MPS는 심장 사건에 대한 위험도 평가에 안전하게 사용할 수가 있다. Brown 등²⁶⁾은 불안정 협심증 환자를 3년간 추적검사에서 비가역적인 관류결손을 보인 군에서는 중한 사건이 3%에서 있었으나 가역적 관류결손이 있는 군에서는 26%에서 발생한 것을 근거로 장기 심장 사건에 대한 위험도를 재분류하는데 부하 MPS가 효과적인 검사라고 하였다. MPS는 저위험 불안정 협심증이나 ST 분절의 상승이 동반되지 않은 심근경색 환자에서도

위험도 평가나 치료방향 결정하는데 이용할 수 있으며, 이러한 환자에서 허혈 소견이 있을 경우에는 심장사건에 대한 위험도가 크므로 재관류 치료를 위한 심도자 검사를 시행하여야 할 것이다. 반면에 허혈 소견이 없을 경우에는 허혈성 심장 사건이 발생할 가능성이 매우 낮으므로 침습적인 검사 대신에 약물치료를 시행할 수 있다.

3. 비심장 수술에서 심장사건의 위험도 평가

수술 전 위험도 평가는 주로 수술전후 심근경색이나 심장사와 같은 중한 심장사건이 생길 가능성을 예측하여 수술 직후 심장사건을 예방하고 수술을 안전하게 시행하는데 있다. 특히 수술수기의 발전에 힘입어 고령자에서 수술이 증가하고 있는 경향이 있어서 관상동맥질환의 유병률이 높은 고령자에서 수술전후의 심장사건을 예측하는 것이 중요하며, 젊은 환자에서는 관상동맥질환의 유병률은 높지 않으나 여명이 길기 때문에 심장사건을 예측하는 것이 역시 중요하다.^{27,28)}

수술 전 심장사건의 위험도는 비침습적인 방법과 침습적인 방법으로 예측할 수 있다. 비침습적인 방법으로는 환자가 호소하는 임상적인 증상과 진찰 및 검사실 소견 등을 종합한 임상척도를 이용하거나 운동부하 심전도 또는 환자의 병력을 분석하여 평가한 운동능력을 기준으로 삼는 방법이 가장 쉽다. 심장초음파에서 얻은 LVEF, 24시간 또는 48시간동안 심전도 모니터하여 심근 허혈의 발생유무를 평가하는 방법과 부하 MPS 등이 있다. 침습적인 방법으로는 관상동맥조영술이 대표적이지만 모든 수술 환자에 시행하기가 어렵고 비용-효과적이지 못하므로 가능하면 비침습적인 방법으로 고위험군 환자를 감별하는 것이 좋다.^{29,30)}

수술 전 심장사건의 위험도 평가에 부하 MPS는 고위험군과 저위험군을 구분하는데 유용한 검사법으로 알려져 있다. Coley 등³¹⁾은 임상자료나 심전도 소견으로 미리 환자군을 분류하고 고위험군은 관상동맥질환에 대한 치료를 하고, 저위험군에서는 더 이상 검사를 할 필요가 없으며, 중등도 위험군에서만 MPS를 시행하는 것이 좋다고 보고하였으나 다른 연구자들은 동일한 연구결과를 얻을 수 없다고 하였다. 일반적으로 수술 후 보고된 심장 사건의 발생률에 따라 수술자체의 위험도를 나눌 수 있는데(Table 2), 특히 말초혈관질환이 있는 환자는 관상동맥질환을 같이 가지고 있을 확률이 매우 높으나 증상이 없고 심전도 소견이 정상으로 나타나는 경우도 적지 않으며 운동부하 검사를 하지 못하는 경우가 많아 부하 MPS가 가장 유용한 검사법이라고 할 수 있다. MPS에서 심근 허혈을 보이는 것은 수술 전후 심장사건이 발생할 가능성이 높음을 의미한다. Harafuji 등³²⁾

Table 2. Surgical Stratification for Cardiac Risk

High risk (>5%)
- Emergent major operation (particularly in the elderly)
- Aortic and other major vascular
- Peripheral vascular
- Anticipated prolonged surgical procedures associated with large fluid shifts and/or blood loss
Intermediate risk (<5%)
- Carotid endarterectomy
- Head and neck
- Intraoperative and intrathoracic
- Orthopedic
- Prostate
Low risk (<1%)
- Endoscopic procedures
- Superficial procedures
- Cataract
- Breast

은 SSS가 대동맥 수술 환자에서 수술 전후 심장사건 예측하는 가장 중요한 인자이며, Chen 등³³⁾은 임상적 척도로 저위험군에 해당하는 환자에서 혈관수술을 시행시에도 MPS에서 가역적 결손은 유용한 예측인자라고 보고하였다. Hashimoto 등³⁴⁾은 중등도 이상의 위험도 수술을 시행시에 게이트 방법으로 얻은 LVEF은 수술 전후 심장사건 발생을 예측하는데 MPS에서 얻은 관류상태에 부가적인 유용한 예측인자로 쓰인다고 하였다. 부하 게이트 MPS는 비심장수술을 시행하는 환자에서 수술 전후 심장사건에 대한 위험도를 평가하고 재관류치료 시행 유무를 결정하는데 부가적인 가치를 지닌 비침습적 검사로 유용한 검사이다.

심장 컴퓨터단층촬영(Cardiac CT)

1. CT 관상동맥조영술(CT coronary angiography)

최근 multislice CT를 이용한 CTA가 관상동맥질환의 진단에 이용이 증가되는 추세이다(Table 3). 광범위한 다혈관 관상동맥질환의 경우에 MPS에서는 균일한 관류감소로 정상관류소견을 보일 수 있는 제한적인 경우에 CTA에서는 협착정도와 더불어 관상동맥우회술과 관련된 혈관 부위를 제공할 수가 있는 장점을 가지고 있으며 관상동맥 칼슘침착 정도의 측정이 가능하며, 고식적인 관상동맥조영술과 유사한 형태학적 정보를 제공하므로써 심혈관 전문의가 재관류치료 부위 결정에 보다 편리하기 때문인 것으로 여겨진다.^{6,7,21)} 또한 급성 관상동맥증후군과 감별을 요하는 급성 흉통의 주요 원인인 대동맥 박리증, 폐색전증, 긴장성 기흉 등을 한 번에 평가할 수가 있다.^{35,36)} 방사능 피폭이나 조영제 사용에 따른 부담으로 아직까지는 무증상인 환자에서 CTA가 관상동맥 위험군 환자의 선별검사로 추천되지 않지만 그 역할이 대폭적으로 커질 가능성이 높다.²¹⁾ 당뇨를 포

Table 3. Clinical Indications of CT Coronary Angiography

Screening for CAD ^{a)} ; no application
Diagnosis of CAD
- Intermediate likelihood of disease
- After equivocal or discordant stress MPS ^{b)}
- Coronary anomalies
- Before valvular surgery
- Nonischemic vs. ischemic cardiomyopathy
- Acute chest pain
- Bypass graft patency or location
Risk stratification (known CAD)
- After equivocal or discordant stress MPS

^{a)}coronary artery disease, ^{b)}myocardial perfusion scintigraphy. (Adapted from Berman et al.⁶⁾

함한 고위험군의 무증상 환자에게 CTA를 선별검사로 사용하는 것에 유용성이 제기되고 낮거나 중등도의 관상동맥질환 가능성의 증상을 가진 환자에서 CTA의 진단적 가치는 유용하다고 알려져 있으나 위험도 평가에 대해서는 MPS보다 유용하다는 보고는 없다. 따라서 CTA를 시행한 경우에서도 재관류치료 후에 생존 이득에 대한 효율적인 정보를 얻기 위해서는 SPECT나 PET에 의한 심근허혈의 정도 및 범위에 대한 평가가 여전히 필요하다고 할 수가 있다. 방사능 피폭이나 조영제 사용에 따른 부담으로 아직까지는 무증상인 환자에서 CTA가 관상동맥 위험군 환자의 선별검사로 추천되지 않지만 그 역할이 대폭적으로 커질 가능성이 높다.

2. 관상동맥 석회화 영상(Coronary artery calcium scanning)

관상동맥의 석회화 정도가 비석회화된 죽상판을 포함한 관상동맥 죽상판의 총량과 비교적 상관성이 높고 향후 발생할 심장 사건을 예측하는 데에도 도움이 된다고 알려져 있다. 그러나 인종, 나이에 따라 관상동맥 석회화 수치의 해석이 달라지는데다 급성 관상동맥증후군의 주 원인인 취약판을 발견하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다. Naghavi 등³⁷⁾은 45세 이상의 모든 남자와 55세 이상의 여자에서 동맥경화 정도에 따라 장기간의 심각한 심장사건 평가를 위하여 관상동맥 석회화 영상(coronary artery calcium scanning; CAC)가 선별검사의 하나로 쓰일 수 있다고 하였다. Berman 등⁶⁾은 증상은 있으나 CTA를 이용할 수 없는 환자에서 관상동맥질환에 검사전 중간정도의 likelihood를 가진 환자에서 관상동맥칼슘 정도를 측정할 값이 높은 경우에는 추가로 부하 SPECT/PET를 시행하여 심근허혈의 정도에 따라 치료 방향을 결정하는 것을 제시하였다(Fig. 1).

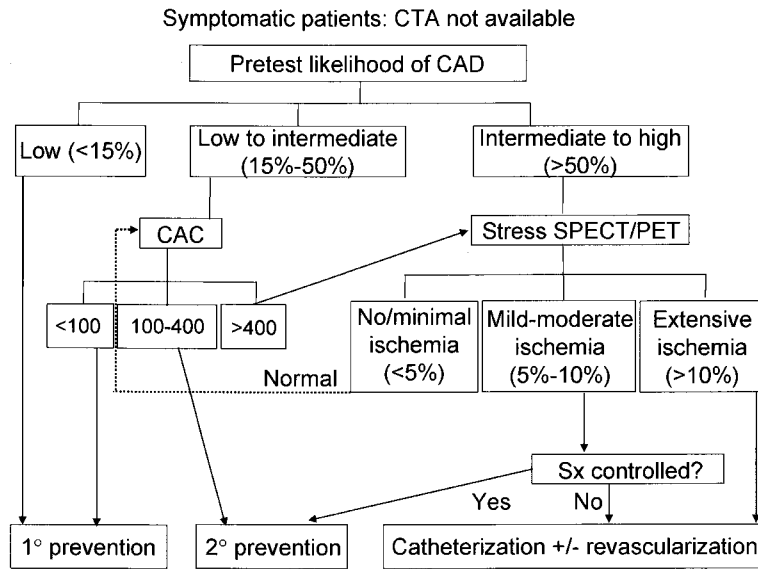


Figure 1. This is an approach to diagnosis and management of CAD with risk stratification in symptomatic patients using coronary CTA and stress SPECT or PET, in situations in which coronary CTA is unavailable. (Adapted from Berman et al.⁶)

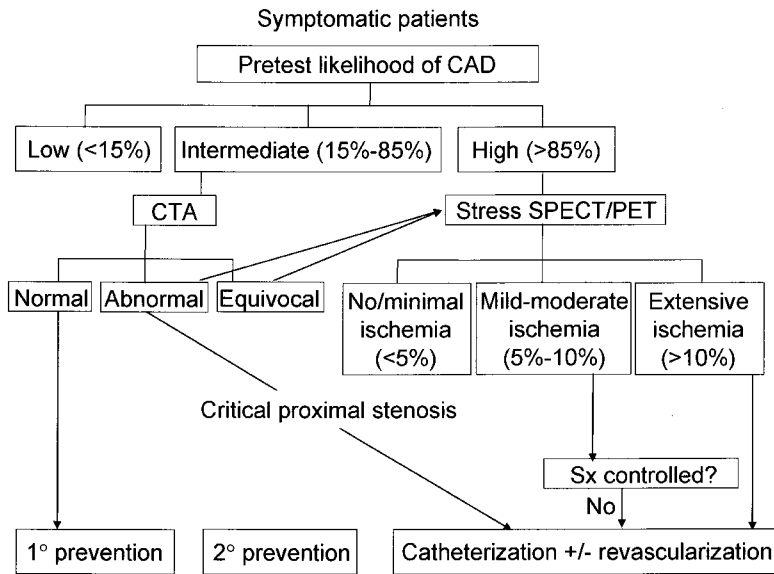


Figure 2. This is an approach to diagnosis and management of CAD with risk stratification in symptomatic patients using coronary CTA and stress SPECT or PET. (Adapted from Berman et al.⁶)

하이브리드 심장영상

최근 기능적 정보에다 CT에 의한 형태학적 정보를 같이 얻고자 하는 관심의 고조로 하이브리드 SPECT/CT나 PET/CT가 개발되어 이용되고 있다. 가까운 미래에 민감도와 공간해상력이 급격하게 향상된 하이브리드 영상시스

템은 동적 스펙트와 관상동맥 혈류의 절대적 정량화를 가능하게 할 수 있어 형태 및 기능적 영상의 조합으로 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.³⁸⁻⁴⁰⁾ 최근까지는 관상동맥에 대한 해부학적 구조와 심근혈류 검사에 하이브리드 영상의 역할은 완전히 확립되지 않았으나 방사성 피폭과 비용을 받아드릴 수 있게 낮추게 된다면 이용 가능성이 크다고 하겠다.

요 약

허혈성 관상동맥질환의 진단과 예후 및 위험도 평가를 위하여 서로 보완적으로 사용되는 주요한 비침습적 검사로 MPS, CAC, CTA 등이 있다. 이들은 얻고자 하는 검사목적에 따라 효율적으로 시행되어야 할 것이다. 동맥경화증의 정도와 성상이나 관상동맥의 해부적인 협착정도를 비침습적으로 평가하는데 새로운 검사법으로 CAC와 CTA가 쓰이고 있다. CAC와 CTA가 관상동맥질환이 의심되는 환자에서 대들보적인 기능 검사인 MPS를 완전히 대체하여 사용되지는 않더라도 앞으로는 진단적인 측면에서 MPS의 사용을 변화시키나 보완할 것으로 생각된다. 중증도의 관상동맥질환에 대한 검사전 가능성을 가진 증상이 있는 환자에서 CTA가 좀 더 명확하게 관상동맥협착 정도를 배제할 수가 있어 MPS 대신하여 이용이 증가하고 있지만 CTA가 비정상인 환자에서 예후 및 위험도 평가를 위하여 MPS가 이용될 수가 있다(Fig. 2). 또한 관상동맥질환에 대한 높은 가능성이 있거나 이미 확인된 환자에서 증상의 정도가 관상동맥조영술을 바로 시행할 정도가 아니라면 MPS가 가장 유용한 평가검사라 할 수 있다. 관상동맥질환에 대한 높은 가능성을 보이지만 증상이 없는 환자에서도 효과적인 치료 방향을 결정하거나 관상동맥조영술이 필요한 환자를 선택하는데 CTA 보다는 MPS가 최초 검사로 유용하다고 할 수 있다.

References

- Gimelli A, Rossi G, Landi P, Marzullo P, Iervasi G, L'abbate A, et al. Stress/rest myocardial perfusion abnormalities by gated SPECT: still the best predictor of cardiac events in stable ischemic heart disease. *J Nucl Med* 2009;50:546-53.
- Ueda T, Toyama T, Seki R, Hoshizaki H, Oshima S, Taniuchi K, et al. Prediction of functional outcome in stunned myocardium after myocardial infarction using BMIPP and tetrofosmin imaging. *J Int Med Res* 2009;37:367-77.
- Shaw LJ, Hendel RC, Heller GV, Borques-Neto S, Cerqueira M, Berman DS. Prognostic estimation of coronary artery disease risk with resting perfusion abnormalities and stress ischemia on myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2008;15:762-73.
- van Werkhoven JM, Schuijf JD, Gaemperli O, Jukema JW, Boersma E, Wijns W, et al. Prognostic value of multislice computed tomography and gated single-photon emission computed tomography in patients with suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2009;53:623-32.
- Lin F, Shaw LJ, Berman DS, Callister TO, Weisaf JW, Wong FJ, et al. Multidetector computed tomography coronary artery plaque predictors of stress-induced myocardial ischemia by SPECT. *Atherosclerosis* 2008;197:700-9.
- Berman DS, Hachamovitch R, Shaw LJ, Friedman JD, Hayes SW, Thomson LEJ, et al. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: noninvasive risk stratification and a conceptual framework for the selection of noninvasive imaging tests in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Nucl Med* 2006;47:1107-118.
- Menon M, Lesser JR, Hara H, Birkett R, Knickelbine T, Longe T, et al. Multidetector CT coronary angiography for patient triage to invasive coronary angiography: performance and cost in ambulatory patients with equivocal or suspected inaccurate noninvasive stress tests. *Catheter Cardiovasc Interv* 2009;73:497-502.
- Doukky R, Hendel RC. Practical guide to risk stratification using myocardial perfusion imaging. In: Heller GV, Hendel RC. *Nuclear cardiology: practical applications*. New York : Mc Graw Hill; 2004. p. 259-74.
- Sabharwal NK, Stoykova B, Taneja AK, Lahiri A. A randomized trial of exercise treadmill ECG versus stress SPECT myocardial perfusion imaging as an initial diagnostic strategy in stable patients with chest pain and suspected CAD: cost analysis. *J Nucl Cardiol* 2007;14:174-86.
- Hachamovitch R, Berman DS, Kiat H, Cohen I, Cabico JA, Friedman J, et al. Exercise myocardial perfusion SPECT in patients without known coronary artery disease: incremental prognostic value and use in risk stratification. *Circulation* 1996; 93:905-14.
- Rajagopalan N, Miller TD, Hodge DO, Frye RL, Gibbons RJ. Identifying high-risk asymptomatic diabetic patients who are candidates for screening stress single-photon emission computed tomography imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:43-9.
- Ahlberg AW, Baqhdasarian SB, Athar H, Thompsen JP, Katten DM, Noble GL, et al. Symptom-limited exercise combined with dipyridamole stress: prognostic value in assessment of known or suspected coronary artery disease by use of gated SPECT imaging. *J Nucl Cardiol* 2008;15:42-56.
- Leoncini M, Sciagra R. Role of perfusion myocardial scintigraphy with gated SPECT technique in the diagnostic and prognostic evaluation of patients with chronic coronary disease. *Ital Heart Suppl* 2002;3:309-18.
- Kayano D, Nakajima K, Ohtake H, Kinuya S. Gated myocardial perfusion SPECT for preoperative risk stratification in patients with noncardiac vascular disease. *Ann Nucl Med* 2009;23:173-81.
- Berman DS, Germano G. The clinical value of assessing left ventricular function from gated SPECT perfusion studies. *Rev Port Cardiol* 2000;19:131-7.
- Nakajima K, Kusuoka H, Nishimura S, Yamashima A, Nishimura T. Prognostic value of myocardial perfusion and ventricular function in a Japanese multicenter cohort study (J-ACCESS): the first-year total events and hard events. *Ann Nucl Med* 2009;23: 373-81.
- Metz LD, Beattie M, Hom R, Redberg RF, Grady D, Fleischmann KE. The prognostic value of normal exercise myocardial perfusion imaging and exercise echocardiography: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:227-37.
- Elhendy A, Schinkel AF, van Domburg RT, Bax JJ, Valkema R, Hoorman A, et al. Risk stratification of patients with angina pectoris by stress Tc-99m tetrofosmin myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 2005;46:2003-8.
- Hachamovitch R, Hayes SW, Friedman JD, Cohen I, Berman DS. A prognostic score for prediction of cardiac mortality risk after adenosine stress myocardial perfusion scintigraphy. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:722-9.
- Travin MI, Heller GV, Johnson LL, Katten D, Ahlberg AW, Isasi

- CR, et al. The prognostic value of ECG-gated SPECT imaging in patients undergoing stress Tc-99m sestamibi myocardial perfusion imaging. *J Nucl Cardiol* 2004;11:253-62.
21. Berman DS, Shaw LJ, Hachamovitch R, Friedman JD, Polk DM, Hayes SW, et al. Comparative use of radionuclide stress testing, coronary artery calcium scanning, and noninvasive coronary angiography for diagnostic and prognostic cardiac assessment. *Semin Nucl Med* 2007;37:2-16.
 22. Hachamovitch R, Friedman JD, Cohen I, et al. Is there a referral bias against revascularization of patients with reduced LV ejection fraction? influence of ejection fraction and inducible ischemia on post-SPECT management of patients without history of CAD. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:1286-94.
 23. Sharir T, Germano G, Kang X, Lewin HC, Miranda R, Cohen L, et al. Prediction of myocardial infarction versus cardiac death by gated myocardial perfusion SPECT: risk stratification by the amount of stress-induced ischemia and the poststress ejection fraction. *J Nucl Med* 2001;42:831-7.
 24. Hachamovitch R, Hayes SW, Friedman JD, Cohen I, Berman DS. Stress myocardial perfusion single-photon emission computed tomography is clinically effective and cost effective in risk stratification of patients with a high likelihood of coronary artery disease (CAD) but no known CAD. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:200-8.
 25. Brown KA, Heller GV, Landin RS, Shaw LJ, Beller GA, Pasquale MJ, et al. Early dipyridamole Tc-99m sestamibi single photon emission computed tomographic imaging 2 to 4 days after acute myocardial infarction predicts in-hospital and postdischarge cardiac events: comparison with submaximal exercise imaging. *Circulation* 1999;100:2060-6.
 26. Brown KA. Prognostic value of thallium-201 myocardial perfusion imaging in patients with unstable angina who respond to medical treatment. *J Am Coll Cardiol* 1991;17:1053-7.
 27. Lim ST, Lee DS, Kang WJ, Chung JK, Lee MC. The usefulness of myocardial SPECT for the preoperative cardiac risk evaluation in noncardiac surgery. *Korean J Nucl Med* 1999;33:273-81.
 28. Freeman WK, Gibbons RJ. Perioperative cardiovascular assessment of patients undergoing noncardiac surgery. *Mayo Clin Proc* 2009;84:79-90.
 29. Almanaseer Y, Mukherjee D, Kline-Rogers EM, Kesterson SK, Sonnad SS, Rogers B, et al. Implementation of the ACC/AHA guidelines for preoperative cardiac risk assessment in a general medicine preoperative clinic: improving efficiency and preserving outcomes. *Cardiology* 2005;103:24-9.
 30. Mukherjee D, Eagle KA. Perioperative cardiac assessment for noncardiac surgery: eight steps to the best possible outcome. *Circulation* 2003;107:2771-4.
 31. Coley CM, Field TS, Abraham SA, Boucher CA, Eagle KA. Usefulness of dipyridamole-thallium scanning for preoperative evaluation of cardiac risk for noninvasive surgery. *Am J Cardiol* 1992;69:1280-5.
 32. Harafuji K, Chikamori T, Kawaguchi S, Obitsu Y, Ito S, Igarashi Y, et al. Value of pharmacologic stress myocardial perfusion imaging for preoperative risk stratification for aortic surgery. *Circ J* 2005;69:558-63.
 33. Chen T, Kuwabara Y, Tsutsui H, Sasaki M, Nakagawa M, Koga H, et al. The usefulness of dipyridamole thallium-201 single photon emission computed tomography for predicting perioperative cardiac events in patients undergoing non-cardiac vascular surgery. *Ann Nucl Med* 2002;16:207-11.
 34. Hashimoto J, Suzuki T, Nakahara T, Kosuda S, Kubo A. Preoperative risk stratification using stress myocardial perfusion scintigraphy with electrocardiographic gating. *J Nucl Med* 2003;44:385-90.
 35. Rahmani N, Jeudy J, White CS. Triple rule-out and dedicated coronary artery CTA: comparison of coronary artery image quality. *Acad Radiol* 2009;3:100-3.
 36. Hoffman U, Bamberg F, Chae CU, Nichols JH, Rogers IS, Seneviratne SK, et al. Coronary computed tomography angiography for early triage of patients with acute chest pain: the ROMICAT (Rule Out Myocardial Infarction using Computed Assisted Tomography) trial. *J Am Coll Cardiol* 2009;53:1642-50.
 37. Naghavi M, Falk E, Hecht HS, Shah PK. The first SHAPE (Screening for Heart Attack Prevention and Education) guideline. *Crit Pathow Cardiol* 2006;5:187-90.
 38. Kaufmann PA. Cardiac hybrid imaging: state-of-the-art. *Ann Nucl Med* 2009;23:325-31.
 38. Rispler S, Keidar Z, Ghersin E, Roguin A, Soil A, Dragu R, et al. Integrated single-photon emission computed tomography and computed tomography coronary angiography for the assessment of hemodynamically significant coronary lesions. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:1059-67.
 39. Di carli MF. Hybrid imaging: integration of nuclear imaging and cardiac CT. *Cardiol Clin* 2009;27:257-63.
 40. Mahmarian JJ. Hybrid SPECT-CT: integration of CT coronary artery calcium scoring and angiography with myocardial perfusion. *Curr Cardiol Rep* 2007;9:129-35.