

## 심근 SPECT를 이용한 관상동맥질환의 진단

계명대학교 동산의료원 핵의학과  
원경숙 · 김해원

### Diagnosis of Coronary Artery Disease Using Myocardial Perfusion SPECT

Kyoung Sook Won, M.D. and Hae Won Kim, M.D.

Department of Nuclear Medicine, Keimyung University, School of Medicine, Daegu, Korea

Myocardial perfusion scintigraphy is currently by far the most commonly performed cardiac nuclear study, constituting approximately one third of all nuclear medicine procedure. It plays an important role in the diagnosis, prognosis, risk assessment and management of heart disease. Aim of this review is to describe recent evolution of myocardial perfusion imaging on the focus of diagnosis of coronary artery disease. In addition, current status of other imaging modalities will be reviewed. (Nucl Med Mol Imaging 2009;43(3):196-202)

**Key Words:** Coronary artery disease, SPECT, myocardial perfusion, diagnosis

## 서론

관상동맥질환은 관상동맥에 생긴 죽상경화증이 주된 원인으로, 임상양상에 따라 크게 안정성 협심증, 불안정성 협심증, 급성 심근경색증으로 나뉘게 되며, 이외에 혈관의 수축에 의해 발생하는 이형 협심증이 있다. 관상동맥질환의 가장 흔한 증상은 흉통이다. 흉통은 매우 흔한 증상으로 흉통을 호소하는 환자에서 가장 우선되는 목표는 심장성 흉통과 비심장성 흉통으로 구분하는 것이다. 환자의 흉통 양상과 성별, 연령 등을 분석하면 검사 전 관상동맥질환일 확률을 알 수 있으며, 진단이 확실하지 않은 경우 운동부하심전도, 심장초음파, 심근관류스캔 등의 부하검사를 하게 된다(Table 1).<sup>1)</sup> 이 중 심근관류스캔은 오랫동안 관상동맥질환의 혈액학적 중요성을 평가하는 확립된 비침습적 방법으로 널리 이용되어 왔으며, 관상동맥질환의 심한 정도에 대한 정보를 줄뿐만 아니라, 심장위험도를 계층화하게 하여 향후 치료계획을 수립하는데 도움을 주며, 중요한 예후정보도 제공하여 좀 더 나은 환자관리를 가능하게 한다.<sup>2-6)</sup>

관상동맥질환의 진단에 있어 금과옥조로 사용되어 온 것

은 관상동맥조영술이었으나, 침습적인 방법으로 환자선택에 있어 비침습적인 방법이 필요하다. 그 동안, 운동부하심전도 검사, 부하 심초음파, 심근관류스캔 등이 이러한 역할을 담당해 왔으며, 최근 심장 MRI, 다검출기 CT 등이 매우 빠른 속도로 발전하고 있으며, 임상에서의 이용이 증가하고 있다.

본 소고에서는 심근관류 SPECT를 이용한 관상동맥질환의 진단과 관련하여, 관상동맥질환의 병태생리와 심근허혈의 발생을 살펴보고, 심근관류 SPECT의 심근허혈 평가에 있어서의 역할, 게이트 SPECT의 근황과 다른 검사법의 현황들을 정리해보고자 하였다.

## 본론

### 1. 관상동맥질환의 병태생리와 심근 허혈

관상동맥질환의 주된 원인인 죽상경화의 진행은 혈관내피의 기능이상, 염증, 그리고 혈전생성에 의해 가속화된다. 진행된 죽상경화병변은 지방과 피사조직의 핵을 가지고 있으며, 이를 섬유성 모자(fibrous cap)가 둘러싸고 있다. 이 모자는 콜라겐을 가지고 있으며, 이 모자의 특성과 급성관상동맥 증후군의 가장 흔한 원인인 죽상경화판 파열의 위험도가 연관되어 있다. 특히, 이 모자가 얇을 때 파열이 잘 일어난다. 전단 스트레스(Shear stress), 모자 바깥쪽 혈관내피의 염증, 금속단백분해효소(metalloproteinase) 등의 효소에 의한 모자의 내부파괴 등이 또 다른 죽상경화판 파열의 주된 결정인자들이다. 파열된 죽상경화판은 매우 빠르게

- Received: 2009. 6. 22.    • Revised: 2009. 6. 24.
- Accepted: 2009. 6. 26.
- Address for reprints: Kyoung Sook Won, M.D., Department of Nuclear Medicine, Keimyung University, School of Medicine, 194 Dongsan-dong, Jung-gu, Daegu, Korea  
Tel : 82-53-250-7022; Fax : 82-53-250-8128  
E-mail: won@dsmc.or.kr

**Table 1.** Pretest Likelihood of Coronary Artery Disease in Symptomatic Patients According to Age and Sex

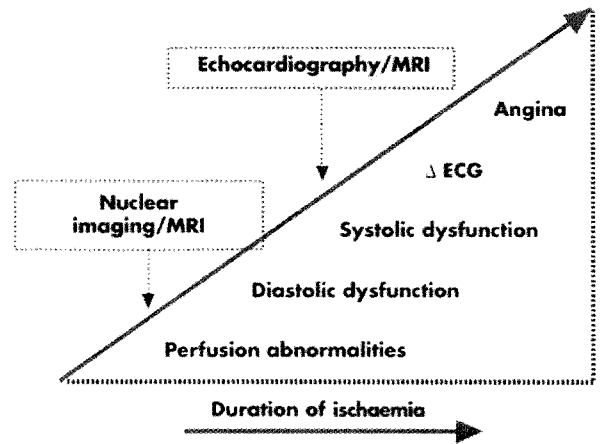
| Age (y) | Angina                               |       |                         |       |                        |       |
|---------|--------------------------------------|-------|-------------------------|-------|------------------------|-------|
|         | Nonanginal chest pain likelihood (%) |       | Atypical likelihood (%) |       | Typical likelihood (%) |       |
|         | Men                                  | Women | Men                     | Women | Men                    | Women |
| 30-39   | 4                                    | 2     | 34                      | 12    | 76                     | 26    |
| 40-49   | 13                                   | 3     | 51                      | 22    | 87                     | 55    |
| 50-59   | 20                                   | 7     | 65                      | 31    | 93                     | 73    |
| 30-69   | 27                                   | 14    | 72                      | 51    | 94                     | 86    |

Data from Gibbons et al.<sup>1)</sup>

혈전을 만들고, 관상동맥을 완전하게 막게 되면 급성 전층 심근경색으로 나타나게 된다. 부분적으로 막게 되면, 불안정형 협심증 또는 ST 분절의 상승이 없는 심근경색 (NSTEMI)를 야기할 수 있다. 비폐쇄혈전은 증상을 야기하지 않을 수도 있으나, 대신 죽상경화판의 외형(geometry)을 변화시켜, 죽상경화판의 빠른 성장을 유도한다. 연구들에 의하면, 급성심근경색은 좀 더 심한 협착을 보였던 곳(내강감소 >70%)에 비해 전에 심한 협착을 보이지 않았던 곳(내강감소 <50%)에서 더 잘 발생한다고 한다. 이러한 불일치는 심근경색이 단순한 기계적(mechanical) 문제가 아님을 말해준다.

70%이상의 관상동맥협착은 노작성 흉통을 야기하기 쉽고, 전형적인 흉통의 병력이 있는 대다수의 환자들은 주 관상동맥 중 최소 한 개가 70%이상의 고정된 죽상경화병변을 가지고 있다.<sup>1)</sup> 이차원 관상동맥조영술에서의 70% 협착은 단면적에서는 거의 90% 감소와 연관되어 있다. 협심증은 심근에 대한 산소의 공급과 수요의 불일치에서 야기된다. 산소공급은 관상동맥의 관류압과 저항에 의해 결정되는데, 혈류는 넓은 범위의 관류압에서 자동조절되므로, 대부분의 혈류변화는 저항, 즉 혈관확장에 의해 일어난다. 그러나 유의한 혈류제한을 일으키는 협착부위보다 먼 곳의 관상동맥계는 전형적으로 최대로 확장되어 있어, 운동시 심박수와 혈압의 증가 같은 아주 작은 수요의 증가만으로도 심근허혈이 일어날 수 있다. 심근의 산소 수요는 심박수, 수축기 혈압, 심벽의 긴장도와 관계된다. 심벽의 긴장도는 심실벽의 압력, 심실강의 크기, 심실벽의 두께에 의해 결정되며 운동과 감정적 스트레스는 이러한 변수들에 강력한 효과를 가지며 허혈성 흉통의 흔한 유발인자들이다.

혈류를 제한하는 협착이 존재하면 휴식시 심근관류는 보존되나, 심근의 산소 요구량이 증가하면 관류의 수요-공급에 불일치가 생기고, 심근허혈이 일어난다. 그런 다음 일련의 사건들이 발생하는데 이를 허혈 연쇄반응(ischemic cascade)이라 한다.<sup>7,8)</sup> 관류이상은 초기에 발생하며, 이완기 및 수축기 좌심실 기능이상 후 나타났고, 심전도 이상



**Figure 1.** The ischemic cascade represents the sequence of pathophysiological events following ischemia. (From Schuijff et al.<sup>9)</sup>

과 흉통은 마지막에 일어난다(Fig. 1). 따라서 관류이상을 발견하는 핵의학 영상은 심근허혈을 진단하는데 높은 예민도를 가진다.

**2. 관상동맥질환과 심근관류 스캔**

심근관류스캔은 두 가지의 생리적 사건을 기술한다. 첫째, 방사성의약품이 심근 안으로 들어가야 한다는 것이고, 둘째, 살아있는 대사가 활발한 심근세포가 방사성의약품을 추출해야 한다. 따라서 심근관류스캔은 살아있는 심근조직에 가는 국소 심근관류 지도이다. 만약 환자가 혈역학적으로 유의한 관상동맥협착으로 인해 국소 관류가 감소하거나, 심근경색의 결과 심근세포의 생존능을 상실한다면 관류영상에서 광자결손부위인 냉소로 나타난다. 부하-휴식 SPECT영상에서 보이는 가역적 병변은 허혈을 나타내며, 비가역 관류결손은 흉터를 시사하는 관상동맥질환의 표지자들이다.

심근관류스캔의 관상동맥질환의 진단성능은 여러 인자들에 의해 영향을 받을 수 있다(Table 2). 한 예로 심근관류스캔에서 비정상소견을 보인 환자들만 관상동맥조영술을

**Table 2.** Factors Affecting Observed Diagnostic Performance of Myocardial Perfusion Scan

|   |
|---|
| Posttest referral bias  |
| Pretest likelihood of coronary artery disease   |
| Radiopharmaceuticals  |
| Protocol  |
| Type of stress  |
| Intensity of stress   |
| Anti-angina medication  |
| Tracer activity below the diaphragm   |
| Artifacts from photon attenuation, scatter, patient motion, low count statistics, reconstruction or processing errors |
| Correction for photon attenuation and scatter   |
| ECG-gating  |

실시한다면 예민도는 100%, 특이도는 0%가 될 것이다. 따라서 특이도 보다는 정상 검출율, 즉, 임상적으로 관상동맥 질환일 확률이 낮은 환자들이 심근관류스캔에서 정상인 비율이 더 적절한 파라미터가 될 것이다. 다른 예로 이전에 심근경색이 있었던 환자군에서는 그런 경우를 제외한 군에서보다 예민도가 높으며, 단일질환 또는 작은 분지의 협착만 있는 군보다 두 혈관질환이상에서 또한 예민도가 높다. 이외에도 부하의 종류와 강도, 항협심증 약물의 복용, 여러 가지 인공산물, 심전도 게이팅 여부에 따라 진단성능이 다를 수 있다. 심근관류영상 제제인 Tl-201, Tc-99m sestamibi, Tc-99m tetrofosmin은 물리적 성질과 영상의 특징이 다르나, 관상동맥질환을 진단하는 성능은 비슷하다고 보고되었다(ROBUST 연구).<sup>9)</sup>

관상동맥질환의 진단에 있어 심근관류스캔의 전체적인 정확도는 예민도 86%, 특이도 74%(79개 연구, 8964명), 정상 검출율(normalcy rate) 89%(10개 연구, 543명)로 보고되었다.<sup>10)</sup>

**3. 게이트 심근 SPECT**

심근관류 SPECT에 도입된 심전도를 이용한 게이트 방법은 심근 벽운동과 두꺼워짐을 관찰함으로써 감쇠로 인한 인공산물을 인지할 수 있게 하여 특이도를 유의하게 증가시켜 진단적 정확도를 향상시켰다.<sup>11-13)</sup> 또한 여러 연구들에서 게이트 SPECT로 국소 벽운동과 두꺼워짐을 심근휴식기 뿐만 아니라 부하기에서도 정확하게 평가할 수 있음을 보고하였고, 부하 후 심근 기절 등을 관찰할 수 있다고 하였다.<sup>14-17)</sup> 더군다나, 여러 가지 소프트웨어들이 개발되어 좌심실의 용적과 구혈률 등을 정확하고 재현성 있게 측정할 수 있게 되었다.<sup>18-21)</sup> 게이트 SPECT에서 얻는 좌심실의 여러 기능적 정보들은 관류정보에 더하여 SPECT의 진단적 정확도를 높이고 예후적 계층화를 제공한다. 최근에는 관류정보에 대한 부가적 역할에서 여러 임상상황에서 주된

역할을 하는 방향으로 바뀌고 있다.<sup>22)</sup>

여러 연구들에서 관상동맥질환의 진단과 범위, 심한 정도를 평가할 때 관류만 보는 것에 비해 게이트 SPECT에서 얻는 좌심실의 기능정보가 점층적 가치가 있음을 보고하였다.<sup>23-29)</sup> Smanio 등은 게이트 안한 SPECT와 게이트 SPECT를 비교하였는데, 정상 검출률이 74%에서 93%로 증가하였으며, 결론에 이르지 못한 검사는 31%에서 10%로 감소하였다.<sup>12)</sup> 한편, 이완기말 영상은 경한 관류감소를 관찰하는데 유용하며, 특히 여자환자와 심장이 작은 사람들에게서 예민도를 증가시킨다.<sup>30)</sup> Shirir 등은 심하고 광범위한 관상동맥질환(90%이상의 협착, 두혈관질환이상)의 진단에서 국소 심근벽운동의 이상이 관류감소를 뛰어넘는 가치가 있음을 보고하였는데, 국소 심근벽운동의 이상은 유의한 예민도 상승을 보여주었으며, 이 때 특이도에는 유의한 감소가 없었다.<sup>23)</sup> Emmett 등은 70%이상의 관상동맥협착을 진단할 때 국소 심근벽운동의 분석이 심근관류영상의 특이도를 향상시킴을 관찰하였다.<sup>24)</sup> 가역적인 심근벽운동 이상은 80%를 초과하는 협착에 대하여 높은 양성 예측율을 보였으며, 게이트 SPECT의 변수들 중 부하기 심근벽 운동점수와 부하기와 휴식기의 벽운동점수의 차이는 다변량분석에서 관상동맥조영술상 위험점수를 예측할 수 있다. Yamagishi 등은 운동 후 게이트 SPECT에서 5%이상 좌심실 구혈률이 감소하는 것은 다혈관질환을 진단하는데 있어 심근관류스캔의 예민도를 26.9%에서 43.3%로 증가시켰으며, 이 때 특이도는 100%에서 90.4%로 감소하였다.<sup>26)</sup> Lima 또한 여러 기존 정보에 기능이상 정보를 추가할 때 세혈관질환을 진단하는 게이트 SPECT의 예측능이 유의하게 증가함을 보고하였다.<sup>28)</sup> 이러한 사례들은 게이트 SPECT의 정보변수들이 단지 관류분석의 진단적 정확도를 높이는데 그치지 않고, 관상동맥질환의 심한 정도와 범위를 알려줌을 보여준다. 즉, 관상동맥질환의 진단 뿐 아니라, 적절한 계층화를 가능하게 하여 환자치료를 계획하는데 있어 중요한 역할을 한다.

**4. 관상동맥 질환을 진단하는 다른 검사들**

1) 관상동맥조영술

1960년대 후반에 도입된 관상동맥조영술은 관상동맥질환의 존재와 범위를 결정하는 금과옥조로 여겨져 왔으며, 혈관양상은 예후에 영향을 미친다. 관상동맥조영술은 대개는 안전하며(치사율은 0.07%, 혈관위험도 <0.25%), 재관류술 선택에 있어 중요한 정보를 제공한다.<sup>31)</sup> 시술로 인한 방사선조사는 심근관류스캔이나 CT에 비하여 낮은 편이다. 한편 아직 검증되지는 않았으나, 현재 심혈관센터의 가용성

의 증가로 과다하고도 불필요한 혈관조영술이 이루어지고 있고, 재관류술로 가장 많은 이익을 얻을 환자를 예측하는 알고리즘에 필요한 심근관류영상과 부하 심초음파는 덜 쓰이고 있다는 주장이 있다. 즉 심혈관조영술의 가능여부가 다른 어떤 임상적인 요소보다 가장 중요한 혈관조영술의 결정인자라는 것이다.<sup>32)</sup> 그래서 상당 수의 환자가 정상 관상동맥을 보이고, 어떤 환자들은 협착에만 근거하여 불필요한 재관류술을 받기도 한다. 이를 지지하는 한 예로, 심근경색 후 관상동맥조영술과 중재술의 빈도가 캐나다에 비해 미국에서 높은 반면, 1년 후 결과에는 차이가 없었다.<sup>33)</sup>

관상동맥 조영술의 약점은 방사선 조사를 받는다는 것과 관상동맥 혈관을 보여주나, 혈관벽의 죽상경화에 대한 정보는 거의 알 수 없어 관상동맥질환의 정도를 실제보다 과소평가한다는 것, 그리고 심기능과 심근생존능, 허혈의 양에 대한 정보는 제공할 수 없다는 것이다. 더군다나 작지만 사망의 위험이 있는 침습적인 시술이다.

관상동맥조영술을 일부 대체할 수 있는 비침습적인 검사들의 이용정도는 심근기능, 심근허혈 정도, 동면심근, 수축예비능, 앞으로의 위험도 평가뿐만 아니라 관상동맥의 구조에 대한 정보를 제공할 수 있느냐에 달려있다.

### 2) 운동부하 심전도

운동부하심전도는 현재 가장 많이 쓰이는 선별검사로, 경제적이고 안전하지만 관상동맥질환에 대한 양성예측율이 75%로 제한적이다(147개 연구, 예민도 68%, 특이도 77%).<sup>34)</sup> 위양성의 가장 흔한 원인들은 고혈압, 심근병증, 과호흡, 좌심실 비대이다. 또한 위양성 결과는 여자에서 흔하며, 특히 승모판 탈출증과 기저 심전도에서 ST-T파의 변화가 있을 때 그러하다. 일부 전문가들은 이러한 이유로 여자들은 모두 부하 영상검사를 받도록 해야한다고 주장하기도 한다.

### 3) 부하 심초음파

부하 심초음파는 부하로 유도되는 심근벽운동 이상을 쉽게 관찰할 수 있으며, 휴식기와 부하기에 관찰되는 심근벽운동의 이상이 관상동맥질환을 시사한다. 부하로 유도되거나 나빠지는 심근벽운동은 심근허혈을 반영해주고, 휴식기에 나타나는 벽운동이상은 심근경색이다. 운동부하 심초음파의 관상동맥질환을 진단하는 예민도와 특이도는 84%와 82%이고(15개 연구 1849명), 도부타민부하의 경우 80%, 84%이다(28개 연구, 2246명).<sup>8)</sup>

부하 심초음파의 단점은 불량한 초음파 창을 가진 경우로 25%의 환자가 여기에 해당한다. 심내막의 경계를 잘 보

기 위하여 second harmonic imaging이나 정맥으로 조영제를 주기도 한다.

심초음파를 하면서 조영제를 쓰면 심근관류도 평가할 수 있다. 조영제를 쓰면 용해될 동안 미세거품이 생기는데 이는 미세혈관의 관류를 반영한다. 따라서 이들의 불균질한 상대적 농도는 그곳의 상대적인 혈류량을 반영하여 SPECT에서처럼 휴식기 관류결손은 심근경색을, 부하로 유도된 관류결손은 허혈을 시사한다. 최근에는 많은 수정된 기법이 도입되었고 실시간 관류평가도 가능하다.

휴식기와 부하기에 조영제를 주사하여 관류와 기능을 함께 볼 수 있으며, 이로 인한 부가적 가치는 예민도 89%, 특이도 63%라는 결과를 보였다(7개 연구, 245명).<sup>8)</sup>

### 4) 심장 자기공명(cardiac magnetic resonance: CMR) 영상

CMR의 장점은 방사선을 쓰지 않는다는 것이다. CMR은 현재 관상동맥영상으로는 적절하다고 여겨지지 않고 있으나, 여러 상황에서 심근의 기능적 평가를 포함한 중요한 부가정보를 제공할 수 있다. 심장 용적과 mass를 정량화할 수 있고, gadolinium과 같은 조영제를 사용함으로써 심근괴사와 흉터를 찾고 크기를 측정할 수 있다. 심근생존능을 믿을 만하게 평가할 수 있다는 보고들이 늘어나고 있으며, 다기관 임상연구 결과에서도 심근관류영상으로 CMR을 쓸 수 있다고 보고하였다.<sup>35)</sup> CMR의 관상동맥질환 진단에 있어 정확도는 약 85%(예민도 93%, 특이도 75%)이다.<sup>36)</sup>

관상동맥의 해부학적 평가를 위한 관상동맥 CMR의 개발에 있어 현재 문제점은 여러 심주기와 호흡주기에 걸쳐 영상을 획득해야 한다는 것이다. Navigator의 사용으로 호흡과 관련된 이러한 문제를 완화시킬 수 있다. 또한 미래에는 높은 대조도 영상 획득과 복잡한 navigator기술로 짧은 시간 동안 전체 관상동맥을 다 영상화할 수 있는 고화질 영상이 가능할 것이다. 그러나 현재로서는 CMR의 공간적 해상도가 낮아 관상동맥조영술을 대체하는 것으로 판단된다. 이외에도 비교적 긴 영상획득 및 분석시간, 불규칙한 맥박을 보이는 환자에서 게이트 문제로 인한 화질 감소가 문제될 수 있으며 인공심장박동기를 삽입한 환자에서도 검사가 제한된다. 또한 숙련된 인력도 부족하다.

CMR은 관상동맥의 해부학적 영상보다는 심근생존능과 관류영상으로서 발전가능성이 크다. CMR의 파급속도는 기존에 확립되어 널리 쓰이고 있는 부하 심초음파나 심근관류스캔에 비하여 어떠한 이점이 있느냐에 달려있다.

### 5) 다검출기 CT (multidetector CT: MDCT)

최근 관상동맥조영술에 대한 주된 도전자는 MDCT이다.

전통적으로 CT는 석회화 점수(calcium scoring)에 사용되어 왔으며, 미국에서는 선별검사로 널리 쓰였으나, 유럽에서는 별로 쓰이지 않았는데 주된 이유는 나이 든 환자에서의 역할이 매우 제한적이기 때문이다. CT 관상동맥조영술은 관상동맥조영술에 비하여 시간적 그리고 공간적 해상도는 떨어지나, CMR보다 우수한 공간해상도를 갖고 있다.<sup>37)</sup> 긍정적인 측면은 검사속도가 빠르고, 간단하고, 신뢰할만하며, 좌심실기능에 대한 정보를 제공하고, 혈관벽 및 죽상경화판의 성상을 관찰할 수 있어 죽상경화판의 취약함(vulnerability)에 대한 평가를 할 수 있다. 비평가들은 해상도가 떨어져 적용 가능한 환자가 적을 수 있고, 높은 방사선 조사를 받을 수 있으며, 재관류술 후 추적검사로 쓰기에 부적합하다고 한다. 또한 심박수가 빠르거나 부정맥이 있는 환자들에서는 영상을 얻기가 곤란하다.

MDCT의 방사선 피폭은 약 10 mSv이고, 공간해상도는 0.25 mm, 시간해상도는 125 ms이다(관상동맥조영술은 5 mSv미만, 0.16 mm, 10 ms 미만). 관상동맥내 석회화가 평가에 걸림돌이 될 수 있으며, 정도가 약하기는 하나 스텐트의 존재도 마찬가지이다. Double oblique reconstruction 등의 특수기법으로 부분적이지만 이를 해결할 수 있다. 최근 MDCT의 발달은 CMR로 얻은 것과 유사한 좌심실 기능에 대한 정보도 제공하며, 생존심근과 관류감소를 찾는다는 초기 보고들도 나오고 있다.<sup>38)</sup>

최근 한 연구에서 분절별 협착 진단의 예민도는 94%, 특이도는 97%를 보고하였으며, 가장 흔하게 놓친 협착은 석회화된 분절에 있었으며, 대부분의 위양성도 마찬가지라고 하였다. 이들 위양성은 주로 원위부 분절에 나타났고, 좌주간지나 근위부병변의 평가는 정확하였다고 한다.<sup>39)</sup>

MDCT는 매우 빠른 속도로 발전하고 있으며, 최근 소개된 dual source CT는 지금까지 제한점이 되어왔던 빈맥, 방사선 조사량, 공간 및 시간 해상도 등의 문제를 대부분 해결할 것으로 보여, 기존 검사들에 대한 강력한 경쟁자로 자리매김할 것으로 보인다.

### 5. SPECT-CT 융합영상

수십 년간 CT와 핵의학 영상은 분리되어 독립적으로 발전해왔다. 이들 검사는 각각 장점이 있는데 CT는 심장과 관상동맥에 대하여 고해상도 영상을 제공하며, 핵의학 영상은 심근관류, 대사, 수용체 등에 대한 기능적 정보를 제공한다. 최근 종양을 진단하고 병기를 결정하는데 있어 PET/CT의 성공적 경험에 힘입어 관상동맥질환자 또는 의심이 되는 환자에서 두 영상기법을 함께 적용하고자 하는 노력들이 현실로 나타나고 있다.<sup>40)</sup>

심근관류스캔은 널리 쓰이고 있기는 하나, 다혈관질환인 경우 종종 가장 심한 협착이 있는 관상동맥영역만 관류이상 부위로 관찰될 수 있고, “balanced” 허혈 또는 광범위한 관상동맥질환의 경우 심근관류를 상대적으로 평가해서는 위험에 처한 심근을 놓칠 수 있다는 단점이 있다.<sup>41,42)</sup> 또, 심근관류스캔은 관류에 제한이 있는 협착만을 진단하기 때문에 준임상 죽상경화증의 존재와 범위를 평가할 수 없다. 이는 광범위한 준임상 관상동맥질환이 있을 수 있는 중간 또는 높은 임상위험을 가진 환자군에서 중요할 수 있으며, 관류스캔만으로 높은 임상위험을 가진 환자들(예를 들면, 당뇨, 말기 신장질환) 중 저위험 환자를 찾는 것이 어렵다는 것을 부분적으로 설명해준다.<sup>43)</sup>

CT 혈관조영술(CT angiography: CTA)은 직경 1.5 mm이 넘는 관상동맥의 기시부 및 중간부의 협착을 매우 예민하게 진단한다. 상대적으로 제한된 영상해상도로 인하여 원위부나 관상동맥 분지에서는 예민도가 떨어질 수 있으나, 이는 심근관류영상에서 얻는 정보로 극복될 수 있다. 또한 부하 심근관류스캔으로 협착부위의 혈역학적 중요성에 대한 정보를 얻어 재관류술이 필요한 환자를 선별할 수 있다. Rispler 등은 56명의 환자를 대상으로 SPECT/CTA를 시행하여 관상동맥질환의 진단에 대한 특이도가 63%에서 95%로, 그리고 양성예측률이 31%에서 77%로 개선됨을 보고하였다.<sup>44)</sup> 이 때 예민도와 음성예측률의 저하는 없었으며, CTA는 부하관류스캔의 주된 약점인 다혈관질환의 진단을 향상시켰다. 그러나 방사선 조사량이 증가되는 단점이 있으며, 어떤 환자군에서 이러한 융합영상이 도움이 될지는 아직 불분명하다.

## 결 론

지난 30여년간 심근관류스캔은 관상동맥질환을 진단하고, 치료계획을 세우고, 위험도를 계층화하고 예후를 예측하며 치료효과를 판정하는 등 중요한 역할을 담당해 왔다. 최근 게이팅 기법의 도입으로 좌심실의 기능에 대한 정보를 관류 정보와 함께 제공할 수 있게 된 것은 괄목할 만한 변화 중 하나라고 본다. 한편 CMR, MDCT의 놀라운 발전 속도는 기존 검사들에 대한 중대한 도전이 되고 있으며, SPECT와 MDCT의 융합영상의 출현은 관상동맥질환의 관리에 있어 큰 변화를 예고하고 있다.

## References

1. Gibbons RJ, Chatterjee K, Daley J, Douglas JS, Fihn SD, Gardin

- JM, et al. ACC/AHA/ACP-ASIM guidelines for the management of patients with chronic stable angina: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Management of Patients With Chronic Stable Angina). *J Am Coll Cardiol* 1999;33:2092-197.
2. Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, Bateman TM, Messer JV, Berman DS, et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging: executive summary—a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/ AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging). *J Am Coll Cardiol* 2003;42:1318-33.
  3. Iskander S, Iskandrian AE. Risk assessment using single-photon emission computed tomographic technetium-99m sestamibi imaging. *J Am Coll Cardiol* 1998;32:57-62.
  4. Hachamovitch R, Berman DS. The use of nuclear cardiology in clinical decision making. *Semin Nucl Med* 2005;35:62-72.
  5. Hachamovitch R, Berman DS, Shaw LJ, Kiat H, Cohen I, Cabico JA, et al. Incremental prognostic value of myocardial perfusion single photon emission computed tomography for the prediction of cardiac death: differential stratification for risk of cardiac death and myocardial infarction. *Circulation* 1998;97:535-43.
  6. Hachamovitch R, Hayes SW, Friedman JD, Cohen I, Berman DS. Comparison of the short-term survival benefit associated with revascularization compared with medical therapy in patients with no prior coronary artery disease undergoing stress myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation* 2003;107:2900-7.
  7. Nesto RW, Kowalchuk GJ. The ischemic cascade: temporal sequence of hemodynamic, electrocardiographic and symptomatic expressions of ischemia. *Am J Cardiol* 1987;59:23C-30C.
  8. Schuijff JD, Shaw LJ, Wijns W, Lamb HJ, Poldermans D, de Roos A, et al. Cardiac imaging in coronary artery disease: differing modalities. *Heart* 2005;91:1110-7.
  9. Kapur A, Latus KA, Davies G, et al. A comparison of three radionuclide myocardial perfusion tracers in clinical practice: the ROBUST study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2002;29:1608-16.
  10. Underwood SR, Anagnostopoulos C, Cerqueira M, Ell PJ, Flint EJ, Harbinson M, et al. Myocardial perfusion scintigraphy: the evidence. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004;31:261-91.
  11. DePuey EG, Rozanski A. Using gated technetium-99m-sestamibi SPECT to characterize fixed myocardial defects as infarct or artifact. *J Nucl Med* 1995;36:952-5.
  12. Smanio PE, Watson DD, Segalla DL, Vinson EL, Smith WH, Beller GA. Value of gating of technetium-99m sestamibi singlephoton emission computed tomographic imaging. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:1687-92.
  13. Fleischmann S, Koepfli P, Namdar M, Wyss CA, Jenni R, Kaufmann PA. Gated <sup>99m</sup>Tc-tetrofosmin SPECT for discriminating infarct from artifact in fixed myocardial perfusion defects. *J Nucl Med* 2004;45:754-75.
  14. Chua T, Kiat H, Germano G, Maurer G, van Train K, Friedman J, et al. Gated technetium-99m sestamibi for simultaneous assessment of stress myocardial perfusion, postexercise regional ventricular function and myocardial viability. Correlation with echocardiography and rest thallium-201 scintigraphy. *J Am Coll Cardiol* 1994;23:1107-14.
  15. Nichols K, DePuey EG, Krasnow N, Lefkowitz D, Rozanski A. Reliability of enhanced gated SPECT in assessing wall motion of severely hypoperfused myocardium: echocardiographic validation. *J Nucl Cardiol* 1998;5:387-94.
  16. Everaert H, Vanhove C, Franken PR. Effects of low-dose dobutamine on left ventricular function in normal subjects as assessed by gated single-photon emission tomography myocardial perfusion studies. *Eur J Nucl Med* 1999;26:1298-303.
  17. Johnson LL, Verdesca SA, Aude WY, Xavier RC, Nott LT, Campanella MW, et al. Postischemic stunning can affect left ventricular ejection fraction and regional wall motion on poststress gated sestamibi tomograms. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:1641-8.
  18. DePuey EG, Nichols K, Dobrinsky C. Left ventricular ejection fraction assessed from gated technetium-99m-sestamibi SPECT. *J Nucl Med* 1993;34:1871-6.
  19. Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, Moriel M, Mazzanti M, Su HT, et al. Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1995;36:2138-47.
  20. Marie PY, Djaballah W, Franken PR, Vanhove C, Muller MA, Boutley H, et al. OSEM reconstruction, associated with temporal Fourier and depth-dependant resolution recovery filtering, enhances results from sestamibi and <sup>201</sup>Tl 16-interval gated SPECT. *J Nucl Med* 2005;46:1789-95.
  21. Guterberlet M, Mehl S, Froelich M, Hausmann H, Plotkin M, Ruf J, et al. Determination of ventricular volumes in coronary artery disease. Comparison of two gated SPECT analysis tools with MRI. *Nuklearmedizin* 2006;45:63-73.
  22. Sciagrà R. The expanding role of left ventricular functional assessment using gated myocardial perfusion SPECT: the supporting actor is stealing the scene. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007;34:1107-22.
  23. Sharir T, Bacher-Stier C, Dhar S, Lewin HC, Miranda R, Friedman JD, et al. Identification of severe and extensive coronary artery disease by postexercise regional wall motion abnormalities in Tc-99m sestamibi gated single-photon emission computed tomography. *Am J Cardiol* 2000;86:1171-5.
  24. Emmett L, Iwanochko RM, Freeman MR, Barolet A, Lee DS, Husain M. Reversible regional wall motion abnormalities on exercise technetium-99m-gated cardiac single photon emission computed tomography predict high-grade angiographic stenoses. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:991-8.
  25. Mazzanti M, Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, Alexanderson E, Friedman JD, et al. Identification of severe and extensive coronary artery disease by automatic measurement of transient ischemic dilatation of the left ventricle in dual-isotope myocardial perfusion SPECT. *J Am Coll Cardiol* 1996;27:1612-20.
  26. Yamagishi H, Shirai N, Yoshizama M, Teragaki M, Akioka K, Takeuchi K, et al. Incremental value of left ventricular ejection fraction for detection of multivessel coronary artery disease in exercise 201Tl gated myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 2002;43:131-9.
  27. Shirai N, Yamagishi H, Yoshizama M, Teragaki M, Akioka K, Takeuchi K, et al. Incremental value of assessment of regional wall motion for detection of multivessel coronary artery disease in exercise 201Tl gated myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 2002;43:443-50.
  28. Lima RS, Watson DD, Goode AR, Siadaty MS, Ragosta M, Beller GA, et al. Incremental value of combined perfusion and function over perfusion alone by gated SPECT myocardial perfusion imaging for detection of severe three-vessel coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:64-70.
  29. Kaul S, Senior R, Firschke C, Wang XQ, Lindner J, Villanueva FS, et al. Incremental value of cardiac imaging in patients presenting to the emergency department with chest pain and

- without ST-segment elevation: a multicenter study. *Am Heart J* 2004;148:129-36.
30. Taillefer R, DePuey EG, Udelson JE, Beller GA, Benjamin C, Gagnon A. Comparison between the end-diastolic images and the summed images of gated <sup>99m</sup>Tc-sestamibi SPECT perfusion study in detection of coronary artery disease in women. *J Nucl Cardiol* 1999;6:169-76.
  31. Smith LDR, Spyer G, Dean JW. Audit of cardiac catheterisation in a district general hospital: implications for training. *Heart* 1999;81:461-4.
  32. Pilote L, Miller DP, Califf RM, Rao JS, Weaver WD, Topol EJ. Determinants of the use of coronary angiography and revascularisation after thrombolysis for acute myocardial infarction. *N Engl J Med* 1996;17:1198-205.
  33. Mark DB, Naylor CD, Hlatky MA, Califf RM, Topol EJ, Granger CB, et al. Use of medical resources and quality of life after acute myocardial infarction in Canada and the United States. *N Engl J Med* 1994;331:1130-5.
  34. Gianrossi R, Detrano R, Mulvihill D, Lehmann K, Dubach P, Colombo A, et al. Exercise-induced ST depression in the diagnosis of coronary artery disease. A meta-analysis. *Circulation* 1989;80:87-98.
  35. 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 multi-centre experience. *Eur Heart J* 2004;25:1657-65.
  36. Wolff SD, Schwitter J, Coulden R, Friedrich MG, Bluemke DA, Biederman RW, et al. Myocardial first-pass perfusion magnetic resonance imaging: a multicenter dose-ranging study. *Circulation* 2004;110:732-7.
  37. Schuijff JD, Bax JJ, Shaw LJ, de Roos A, Lamb HJ, van der Wall EE, et al. Meta-analysis of comparative diagnostic performance of magnetic resonance imaging and multi-slice computed tomography for non-invasive coronary angiography. *Am Heart J* 2006;151:404-11.
  38. Juergens KU, Fischbach R. Left ventricular function studied with MDCT. *Eur Radiology* 2006;16:342-57.
  39. Leschka S, Alkadhi H, Plass A. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J* 2005;26:1482-7.
  40. Di Carli MF. Hybrid imaging: Integration of nuclear imaging and cardiac CT. *Cardiol Clin* 2009;27:257-63.
  41. Schuijff JD, Wijns W, Jukema JW, Atsma DE, deRoos A, Lamb HJ, et al. Relationship between noninvasive coronary angiography with multi-slice computed tomography and myocardial perfusion imaging. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:2508-14.
  42. Di Carli MF, Dorbala S, Curillova Z, Kwong RJ, Goldhaber SZ, Rybicki FJ, et al. Relationship between CT coronary angiography and stress perfusion imaging in patients with suspected ischemic heart disease assessed by integrated PET-CT imaging. *J Nucl Cardiol* 2007;14:799-809.
  43. Shaw LJ, Iskandrian AE. Prognostic value of gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2004;11:171-85.
  44. Rispler S, Keidar Z, Ghersin E, Roquin A, Soil A, Draque R, et al. Integrated single-photon emission computed tomography and computed tomography coronary angiography for the assessment of hemodynamically significant coronary artery lesions. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:1059-67.