

휴식 Tl-201/부하 Tc-99m MIBI 심근 SPECT의 관상동맥질환 진단 정확성

서울대학교병원 핵의학과, 내과*

여정석 · 이동수 · 강건욱 · 손대원* · 오병희* · 이명묵*
정준기 · 박영배* · 이명철 · 서정돈* · 이영우* · 고창순

Diagnostic Accuracy of Rest Tl-201/Stress Tc-99m-MIBI Myocardial SPECT in the Diagnosis of Coronary Artery Disease

Jeong Seok, Yeo, M.D., Dong Soo Lee, M.D., Keon Wook Kang, M.D.
Dae Won Sohn, M.D.*, Byung Hee Oh, M.D.*, Myung Mook Lee, M.D.*
June-Key Chung, M.D., Young Bae Park, M.D.*, Myung Chul Lee, M.D.
Jung Don Seo, M.D.*, Young Woo Lee, M.D.* and Chang-Soon Koh, M.D.

Departments of Nuclear Medicine and Internal Medicine,
Seoul National University Hospital, Seoul, Korea*

= Abstract =

Objective: Standard stress/rest Tc-99m MIBI and Tl-201 myocardial perfusion study have some limitations such as stress/rest image overlap for Tc-99m-MIBI, low energy for Tl-201 and long period of study time for two separate studies. Separate acquisition rest Tl-201/stress Tc-99m MIBI dual isotope study is a potentially efficient myocardial perfusion imaging protocol that combines the high resolution of Tc-99m for stress perfusion assessment and Tl-201 for viability assessment. This study assessed the usefulness and diagnostic accuracy for this new approach.

Methods: We tried to evaluate sensitivity and specificity of dual isotope separate acquisition protocol in 67 patients. Immediately after resting Tl-201 SPECT data was acquired, dipyridamole stress Tc-99m MIBI myocardial perfusion study was performed. Visual analysis was carried out qualitatively with 0 to 3 scoring system for 17 segments of left ventricle in the reconstructed horizontal long axis and short axis slices.

Results: Total study was completed within 3 hours. In angiographic correlation, dual isotope SPECT demonstrated high sensitivity(85%) and in a small group of patients, high specificity was also observed (100%).

Conclusion: Combined thallium-201/stress Tc-99m MIBI SPECT displayed similar diagnostic accuracy to protocol using stress/rest Tc-99m MIBI SPECT. This protocol was completed in shorter period than the previous protocols and therefore enhance laboratory throughput and patients convenience.

Key Words : Diagnostic accuracy, Dual isotope separate acquisition, Coronary artery disease

서 론

Tl-201 이나 Tc-99m MIBI 를 이용한 심근 관류영

상은 관동맥질환의 진단에 서로 비슷한 정확도를 보인다¹⁻⁴⁾. 그러나 Tl-201은 방출에너지가 낮아 연조직 감쇠 효과가 크고 반감기가 길어 투여량을 적게 하여야 하기 때문에 좋은 영상을 얻기가 어렵고 반면 Tc-

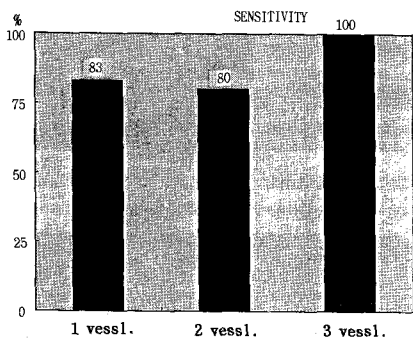


Fig. 3. SPECT진단의 예민도.

영술에서 50%이상의 혈관협착이 있는 경우와 서로 비교하였다.

결 과

1. 검사시간

휴식/부하기영상을 모두 얻는데 검사방법상 평균 2시간이 걸리나 실제로는 카메라 점유시간 때문에 평균 3-4시간이 걸렸다.

2. 진단정확도

1) 전체적 진단율

심혈관조영술상 혈관 질환이 발견된 61예중 SPECT는 52예를 찾아내어 85%의 진단예민도를 나타내었다. 심혈관조영술상 질환이 없었던 6예에서는 모두 SPECT가 정상상을 나타내어 SPECT의 전체적 진단의 정확도는 87%였다.

단일혈관질환은 예민도가 83%(24명중 20예)였고 두혈관질환은 80%(26명중 21예), 세혈관질환은 100%(11명에서 11예 모두)였다(Fig. 3).

2) 각 혈관별 진단율

각각의 관동맥질환을 찾아내는 예민도의 범위는 51-74%로 평균 66%였고 특이도는 86-97%로 평균 91%였다. 예민도는 좌전하행동맥, 우관상동맥, 좌회선관상동맥이 각각 74%, 67%, 51%로 좌전하행동맥이 가장 높았고 특이도는 각각 90%, 86%, 97%였다(Fig. 4).

좌전하행동맥의 47개 협착동맥영역 중 35영역을 찾았고 협착이 가볍거나 정상인 부분은 20 동맥영역중

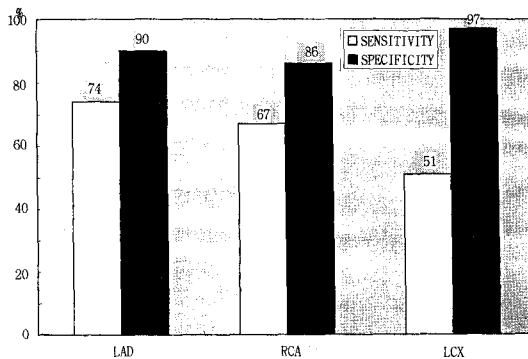


Fig. 4. 각 동맥영역별 진단의 예민도와 특이도.

18영역이었다. 우관상동맥은 31개 협착동맥영역 중 21영역을 찾았고 협착이 가볍거나 정상인 동맥영역은 SPECT에 20 동맥영역중 18영역이 정상으로 나타났다. 좌회선관상동맥은 31개 협착동맥영역 중 16영역을 찾았고 협착이 가볍거나 정상인 동맥영역은 SPECT에 36 동맥영역중 35영역이 정상으로 나타났다.

세영역을 합하여 전체 관상동맥으로 보고 얻은 예민도는 평균 66% (72/109), 특이도는 91%(84/92)이었다.

3. 혈관질환별 진단율

단일혈관질환 환자를 진단하는 예민도는 83% (20/24), 두혈관질환을 진단하는 예민도는 80%(21/26) 세혈관질환을 진단하는 예민도는 100%(11/11)이었다.

고 찰

양전자방출단층영상 대신에는 심근생존능을 평가하는 데에는 현재 널리 쓰이는 Tl-201이 이상적인 방사성 핵종으로 생각되고 있다. 그러나 Tl-201의 낮은 방출에너지와 긴 반감기등 영상구성에 적합하지 않은 제한점들이 없는 Tc-99m제제가 도입되어 관상동맥질환의 진단에 널리 쓰이고 있다. 이 두 제제는 관동맥질환의 진단에 서로 비슷한 정확도를 보이는 것으로 알려져 있으나¹⁻⁴⁾ Tl-201은 부하기 영상촬영중에도 이미 재분포가 시작되고 있어 촬영시간에 제한이 있다. 부하기 Tl-201 영상이 Tc-99m MIBI SPECT보다 좋다는 보고는 적으며⁸⁾ 통상적인 부하-재분포 영상법으로는 Tl-201 SPECT에도 생존심근이 고정관류결손으로 나타나는 경우가 많아 생존심근의 진단에 완전하지 않

99m MIBI는 영상은 좋지만 거의 재분포하지 않기 때문에 동면심근의 심근생존능을 과소평가할 가능성이 있다. Tc-99m MIBI 또는 Tl-201을 단독으로 이용한 통상적인 부하/휴식 또는 휴식/부하 영상법은 먼저 주사한 방사능이 나중 영상에 중첩되어 생존심근에서도 고정관류결손을 보이는 경우가 생기며⁵⁾ 전체 영상 획득에 시간이 많이 걸린다는 단점이 있었다.

서로 다른 에너지의 방사능을 구별할 수 있는 감마 카메라로 한 대상에서 Tl-201과 Tc-99m MIBI 를 함께 써서 심근관류 SPECT를 시행하면 이 단점들을 서로 보완하며 극복할 수 있다^{6,7)}. 우리는 이 연구에서 관동맥질환의 진단과 생존심근을 찾는 두 역할을 동시에 수행할 수 있는 휴식 Tl-201/부하 Tc-99m MIBI/지연 Tl-201 SPECT 방법을 제시하였다. 휴식기 Tl-201 심근 SPECT를 시행한 뒤 곧 이어 디피리다몰 약물 부하를 가하고 Tc-99m MIBI 심근 SPECT를 얻으면 Tc-99m-MIBI 로는 허혈성심질환 유무를, Tl-201로는 24시간 영상을 얻어 심근생존능을 검증할 수 있다.

우리는 이연구에서 이 방법이 관상동맥질환을 진단 하는데 얼마만한 진단 정확도를 보이는지 조사하였다.

대상 및 방법

1. 대상

1995년 1월부터 휴식기 Tl-201/부하기 Tc-99m-MIBI 심근 SPECT 와 심혈관조영술을 서로 2개월이 내에 시행받은 환자 67명이 대상이었다. 관동맥성형술이나 관동맥우회술을 시행한 환자는 대상에서 제외하였다. 심혈관조영술상 심혈관 질환이 있는 환자는 61명으로 이중 단일혈관질환이 24명, 두 혈관질환이 26명이었고 나머지 11명은 세혈관질환이었다.

2. SPECT촬영방법(Fig. 1)

1) Tl-201 휴식기 영상

Tl-201 111 MBq(3mCi)을 환자에 주사한 후 고해상도조준기를 장착한 삼중헤드 SPECT 카메라를 이용하여 15분간 64X64 매트릭스로 휴식기영상을 얻었다.

2) Tc-99m MIBI 부하기 영상

첫번째 영상을 얻고 나서 즉시 0.56mg/kg의 디피리다몰을 4분에 걸쳐 주사한 뒤 370 MBq(10mCi)의

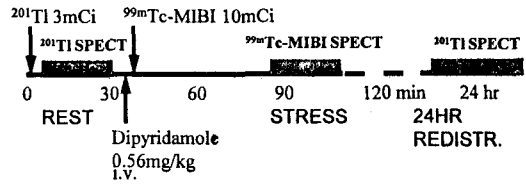


Fig. 1. 휴식 Tl-201/부하 Tc-99m MIBI/24시간 지연 Tl-201 심근 SPECT촬영 순서.

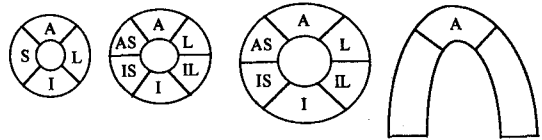


Fig. 2. 심근분절분석방법. 총 17개의 분절별로 좌전하행동맥영역(A,S,ASz분절), 우관상동맥영역(I,IS 분절), 좌회선동맥영역(L,IL분절)으로 구분됨.

Tc-99m-MIBI를 주사하고 1시간 뒤 같은 방법으로 부하기 영상을 얻었다.

3) 24시간 지연영상

휴식기 영상에 관류감소이나 결손이 보이면 24시간 후에 재분포영상을 촬영하였다.

3. SPECT분석방법

여과후 역투사로 단축영상을 구성할 때 산란이나 감쇠보정은 하지 않았다. 단축영상을 이용하여 수평및 수직 장축으로 재구성한 단면영상에서 좌심실영역을 총 17개의 분절로 나누어서 평가하였다. 즉 단축영상에서 심첨부위는 4분절로 나누고 심근 중간 부위와 기저부위는 각각 6분절씩으로 나누었으며 여기에다가 수평장축영상의 심첨부위를 분석범위에 포함시켜 이 17개의 분절을 각 주요 심혈관범위로 할당하였다(Fig. 2). 각 분절은 반정량적으로 4단계로 구분한 점수(0:정상혈류, 1:경미한 관류감소, 2:심한 관류감소 3:관류결손)로 나누어 평가한 뒤 이를 각 관상동맥구역별로 구분하여 최종 판독하였다.

2명의 판독자가 동의하여 판정하였으며 한분절에서 1점이라도 의미있는 것으로 해석하여 관동맥질환의 기준으로 하였다. 이때 감쇠보정을 하지 않았으므로 전벽, 중격, 후벽의 관류가 정상에서도 균등하지 않음을 고려하였다. 각 분절이 이상이 있어보일 때 일률적으로 각 심혈관부위로 포함시키지 않고 인근혈관영역의 관류상태를 평가하여 판정하였다. 이 결과를 심혈관조

다고 알려져 있다⁵⁾. Tc-99m MIBI는 심근생존능의 진단에 Tl-201보다 정확성이 더욱 떨어진다고 한다⁸⁻¹⁰⁾.

부하/휴식 Tc-99m MIBI 심근SPECT는 부하기 영상을 먼저 얻으므로 이 경우 심한 운동성 허혈이 있을 때에는 그 영향이 휴식기 영상에 미쳐 검색으로 과잉 진단하게 될 위험성이 있다^{9, 10)}. 4시간전에 주사한 부하기 방사능의 영향으로 휴식기영상이 실제로는 참 휴식상태를 나타내지 못하며 휴식기 영상에 관류결손의 영역이 과장되기 때문에^{11, 12)} 실제로는 가역적인 관류결손을 비가역적인 것으로 판정하여 심근생존능을 과소평가할 수 있다.

이런 단점을 개선하고자 휴식기를 먼저 촬영하는 SPECT방법이 제안되었으나^{11, 12)} 이때에는 휴식기의 Tc-99m MIBI 방사능이 부하기까지 남아 경미한 허혈은 못 찾는 경우가 있다. 또 혈류가 낮은 휴식기에 적은양의 방사능동위원소를 이용해야 하기 때문에 휴식기 영상의 계수가 낮다.

Tl-201 이나 Tc-99m-MIBI를 이용한 심근 관류영상은 관동맥질환의 진단에 서로 비슷한 진단 예민도와 특이도를 보이는 하나¹⁻³⁾ Tl-201 과 Tc-99m이 서로 에너지 범위가 다르기 때문에 감쇠와 산란의 정도도 달라서 두 영상을 직접 비교하는 것이 질환의 심한 정도와 가역성의 판단에 영향을 줄 수 있다¹³⁾. 그러나 이 영향이 관류결손을 발견하는 데에는 크게 영향을 끼치지 않고 특히 두 영상이 휴식기에서는 관류결손의 정도가 거의 같다¹⁴⁾는 보고를 참조하여 두 동위원소 영상의 작은 차이에 익숙해지면 두가지 동위원소를 이용한 영상을 서로 비교하는 분석이 가능하다고 생각하였다.

휴식기 영상이 참 휴식기를 나타내지 못 한다는 문제점은 부하/재분포 Tl-201 SPECT의 경우에도 마찬가지이다. 부하/재분포 Tl-201 SPECT가 심근생존능을 과소평가하는 것을 보완하기 위하여 재주사 또는 지연영상을 얻는 방법도 도입되었다. 우리들이 사용한 이 방법에서는 아무런 부하를 가해지지 않은 상태의 진정한 휴식기의 Tl-201영상을 얻었다. 따라서 휴식기 혈류를 평가하는 데는 부하/휴식 순서의 Tc-99m-MIBI 나 부하후 재분포 Tl-201 영상보다 적절하다고 생각하였다. 서로 다른 동위원소의 에너지 영역에서 휴식기/부하기의 영상을 얻기 때문에 첫번째 주사한 동위원소가 두번째 영상에 영향을 미치는 일도 없다.

이 방법을 이용한 심근관류스캔은 관동맥질환을 진단하는데 기존의 부하/휴식 Tc-99m MIBI SPECT와 비슷한 정확도를 보였다. 이 SPECT의 진단율은 정확도가 87%로 과거의 방법에 비해 비슷하거나 더 좋은 결과를 보여 주었다¹⁵⁻¹⁸⁾. 과거의 결과는 단일헤드카메라에 의한 결과였고 이번은 삼중헤드카메라에 의해 얻은 결과이기 때문에 이것이 진단율을 높이는 한 요인으로 작용하였으리라 생각된다. 검사후의뢰오차(post-test referral bias) 즉 SPECT를 먼저 시행하여 이상이 있을때에만 심혈관조영술을 시행하는 경우가 많아 이것이 진단의 예민도를 상승시키는 요인으로 작용하였을 수 있다. 그러나 이런 점은 과거의 보고에도 같이 적용되므로 이 결과와 옛 방법의 진단정확성을 비교하여도 괜찮다고 보았다.

SPECT에서 심혈관 질환이 위음성으로 나타나는 경우는 단일 혈관질환에서 많다는 보고가 있으나 이번 결과에서는 단일 혈관질환의 진단 예민도도 80%를 상회하고 있으며 전체 질환중 단일 혈관질환이 차지하는 비율도 과거 검사의 경우에 비해 적지 않아 단일혈관질환의 진단에서도 도움이 됨을 보여 준다. 이번 결과에서는 특이도가 비록 100%라는 높은 수치를 보여주었지만 심혈관조영술상 질환이 없던 환자의 수가 적어(6예) 일반화할 수 없었다.

휴식 Tl-201/부하 Tc-99m-MIBI SPECT의 장점 중 하나가 전체 영상획득에 걸리는 시간이 이미 쓰던 방법에 비해 짧다는 점이다. 부하/휴식 Tc-99m-MIBI 심근SPECT의 경우는 부하기후 휴식기영상을 얻기 까지 4시간을 기다리고 또 Tc-99m-MIBI 주사후 영상 촬영까지 1시간을 더 기다려야 하므로 전체적으로 6시간 정도가 소요되었다. 이러한 시간지연을 모두 없앨 수 있어 실제로 전체 SPECT촬영에 2시간까지로 줄일 수 있었다. 이보다 더 시간이 적게 걸리는 방법으로 Tl-201과 Tc-99m-MIBI의 방사능을 순차적으로 측정하지 않고 동시에 측정하는 방법이 제기되었다. 그러나 이때에는 Tc-99m의 방사능이 Tl-201의 광결정영역으로 콤프톤산란해 들어가서 생기는 오차를 보정하여야 하므로 이 연구의 방법처럼 간단하지 않았다¹⁹⁾. 반면 Tl-201은 Tc-99m의 영역으로 넘쳐들어가는 방사능량이 적어 거의 무시할 만하므로^{6, 7)} Tc-99m 단독으로 촬영한 영상이 Tl-201과 같이 얻은 영상과 비슷하여 이 영향의 보정이 특별히 필요하지 않다.

이 연구에서 우리는 관상동맥의 진단과 생존심근을 찾는 두가지 목표에 동시에 이를 수 있는 휴식 Tl-201/부하 Tc-99m MIBI/지연 Tl-201 SPECT를 하는 방법을 제시하고 휴식 Tl-201/부하 Tc-99m MIBI의 진단성능을 조사하여 Tl-201/Tc-99m MIBI SPECT가 기존의 부하/휴식기 Tc-99m MIBI SPECT를 대신할 만한지 보였다. 첫번째 영상의 배경방사능이 두번째 영상에 영향을 끼치지 않는 장점이 있으며 검사에 걸리는 시간은 매우 줄어들어 환자의 편리를 도모하고 전체적인 검사의 효율도 증진할 수 있었다.

요 약

휴식 Tl-201/부하 Tc-99m MIBI/지연 Tl-201 심근 SPECT는 관상동맥질환을 진단하는데 87%의 진단 정확성을 보여 기존의 부하/휴식 Tc-99m MIBI SPECT와 비교하여 비슷하거나 더 좋은 성능을 보였다. 이 연구로써 휴식 Tl-201/부하 Tc-99m MIBI 심근 SPECT방법의 관상동맥질환 진단성능은 다른 방법들과 비슷함을 확인하였다. 또한 이 방법은 진정한 의미의 휴식기 영상을 얻을 수 있고 휴식기와 부하기 영상 사이에 남아있던 방사능으로 인한 오차에서 벗어날 수 있으며 Tl-201의 재분포영상과 24시간 지연영상으로부터 지속관류감소 부위의 생존여부에 대한 정보를 얻을 수 있고 휴식기촬영후 바로 부하기촬영을 하므로 전체 검사시간이 줄어 환자에게 편리하고 효율이 높아, 지연 Tl-201 SPECT의 심근 생존능 판별능력이 확인되면 관상동맥질환의 진단과 생존심근을 찾는 검사로 유용할 가능성이 있음을 알았다.

REFERENCES

- 1) Kiat H, Maddahi J, Roy LT, Van Train K, Friedman J, Berman DS: Comparison of technetium-99m methoxy isobutyl isonitrile and thallium-201 for evaluation of coronary artery disease by planar and tomographic methods. *Am Heart J* 1989; 117:1-11
- 2) Iskandrian AS, Heo J, Kong B, Lyons E, Marsch S: Use of technetium-99m isonitrile(RP-30A) in assessing left ventricular perfusion and function at rest and during exercise in coronary artery disease, and comparison with coronary arteriography and exercise thallium-201 SPECT imaging. *Am J Cardiol* 1989;64:270-275

- 3) Kahn J, McGhie I, Akers M, Sills MN, Faber TL, Kulkarni PV, Willerson JT, Corbett JR: Quantitative rotational tomography with thallium-201 and Tc-99m-2-methoxy-isobutyl-isonitrile: A direct comparison in normal individuals and patients with coronary artery disease. *Circulation* 1989;79:1282-1293
- 4) Iskandrian AS, Heo J, Nguyen T, Beer S, Cave V, Cassel D, Iskandrian BB: Tomographic myocardial perfusion imaging with Tc-99m teboroxime during adenosine-induced coronary hyperemia: Correlation with Tl-201 imaging. *J Am Coll Cardiol* 1992;19:307-312
- 5) Cloninger KG, DePuey EG, Garcia EV, Roubin GS, Robbins WL, Nody A, DePasquale EE, Berger HJ: Incomplete redistribution in delayed thallium-201 single photon emission computed tomographic(SPECT) images: An overestimation of myocardial scarring. *J Am Coll Cardiol* 1988; 12:955-63
- 6) Kiat M, Germano G, Van Train K, Friedman J, Silagan G, Wang F, Maddahi J, Berman D: Quantitative assessment of photon spillover in simultaneous rest Tl-201/stress Tc-99m sestamibi dual isotope myocardial perfusion SPECT[Abstract]. *J Nucl Med* 1992;33:854
- 7) Berman DS, Kiat H, Friedman JD, Wang FP, Train KV, Matzer L, Maddahi J, Germano G. Separate acquisition rest thallium-201/stress technetium-99m sestamibi dual-isotope myocardial perfusion SPECT: A clinical validation study. *J Am Coll Cardiol* 1993;22:1455-1464
- 8) 범희승, 김지열, 박주형, 안영근, 정명호, 조정관, 박종춘, 강정채: Tl-201과 Tc-99m MIBI에 의한 생존심근 진단 비교. *대한핵의학회지* 1992;26:274-279
- 9) 이동수, 강진옥, 이경한, 정재민, 곽철은, 정준기, 이명철, 서정돈, 고창순: 휴식/부하 심근 Rubidium-82 양전자단층촬영과 부하/휴식 심근 Tc-99m-MIBI 단일광자단층촬영의 비교. *대한핵의학회지* 1995;29:31-40
- 10) 휴식기심근관류의 평가방법비교: 부하/휴식 Tc-99m-MIBI SPECT와 휴식 Tl-201 SPECT 및 지연 Tl-201 SPECT(초록). *대한핵의학회지* 1995;29:197
- 11) Taillefer R, Gagnon A, Laflamme L, Gregoire J, Leveille J, Pohaneuf D-C: Same day injections of 99m methoxy isobutyl isonitrile(hexamibi) for myocardial tomographic imaging: Comparison between rest-stress and stress-rest sequences. *Eur J Nucl Med* 1989;15:113-117

- 12) Heo JK, Kegel J, Iskandrian AS, Cave V, Iskandrian BB: *Comparison of same day protocols using technetium-99m-sestamibi myocardial imaging. J Nucl Med* 1992;33:186-191
- 13) Narahara KA, Villanueva-Meyer J, Thompson CJ, Brizendine M, Mena I: *Comparison of Tl-201 and Tc-99m hexakis 2-methoxy isobutyl isonitrile single photon emission computed tomography for estimating the extent of myocardial ischemia and infarction in coronary artery disease. Am J Cardiol* 1990;66:1438-1444
- 14) Maublant JC, Marcaggi X, Lusson JR, Boire JY, Cauvin JC, Jacob P, Veyre A, Cassagnes J: *Comparison between thallium-201 and the technetium-99m methoxyisobutylisonitrile defect size in single-photon emission computed tomography at rest, exercise and redistribution in coronary artery disease. Am J Cardiol* 1992;69:183-7
- 15) 여정석, 이동수, 이경한, 김종호, 손경수, 조성욱, 광철은, 정준기, 이명철, 서정돈, 고창순: *Tc-99m MIBI 심근 SPECT의 분절 육안 분석시 판독자간의 일치도. 대한핵의학회지* 1994;28(3):317-325
- 16) 이명철, 이동수, 이명용, 최창운, 손대원, 정준기, 이명묵, 박영배, 서정돈, 이영우, 고창순: *관동맥질환에서 디피리다몰 부하 Tc-99m MIBI 심근 SPECT극성 지도와 관동맥조영술의 비교. 대한핵의학회지* 1993;27(1):51-58
- 17) 배상균, 이동수, 오병희, 정준기, 이명묵, 박영배, 이명철, 서정돈, 이영우, 고창순: *디피리다몰 부하 Tc-99m MIBI 심근 SPECT 극성결손지도를 이용한 관동맥질환의 남녀비교. 대한핵의학회지* 1993;27(1):59-64
- 18) 김상은, 남기병, 최창운, 최기준, 이동수, 손대원, 안규리, 정준기, 이명묵, 이명철, 박영배, 최윤식, 서정돈, 이영우, 고창순: *Thallium-201 심근 단층영상의 정량적 분석. 대한핵의학회지* 1991;25(2):165-176
- 19) Watson DD, Smith WH, Glover DK, Ruiz M, Sobczak M, Beller GA: *Dual-isotope SPECT imaging of Tc-99m sestamibi and Tl-201-Comparing myocardial defect magnitudes[Abstract]. Circulation* 1991;84:34
- 20) Howard W, Michael A King, Christopher P Reinhardt, Brenda A McSherry, Jeffrey A Leppo: *A Method of simultaneous dual-radionuclide cardiac imaging with the technetium 99m and thallium 201.I: Analysis of internuclide crossover and validation in phantoms. J of Nucl Cardiol* 1994;1:39-51