

## 휴식/부하 심근 Rubidium-82 양전자단층촬영과 부하/휴식 심근 Tc-99m-MIBI 단일광자단층촬영의 비교

서울대학교병원 핵의학과 및 PET센터, 내과\*

이동수·강건욱·이경한·정재민·곽철은  
정준기·이명철·서정돈\*·고창순

= Abstract =

### Stress/Rest Tc-99m-MIBI SPECT in Comparison with Rest/Stress Rubidium-82 PET

D.S. Lee, M.D., K.W. Kang, M.D., K.H. Lee, M.D., J.M. Jeong, Ph.D., C Kwark, Ph.D.  
J-K. Chung, M.D., M.C. Lee, M.D., J.D. Seo, M.D.\* and C-S Koh, M.D.

*Department of Nuclear Medicine and PET Center, Department of Internal Medicine\*,  
Seoul National University Hospital, Seoul, Korea*

We compared stress/rest myocardial Tc-99m-MIBI tomographic image findings with rest/stress rubidium-82 tomographic images. In 23 patients with coronary artery disease (12 of them received bypass grafts before) and 6 normal subjects, rest rubidium PET study was performed; rubidium-82 and Tc-99m-MIBI were injected simultaneously to each patient after dipyridamole stress for rubidium PET and MIBI SPECT; and rest MIBI SPECT was performed 4 hours thereafter. We scored segmental decrease of rubidium or MIBI uptakes into 5 grades for 29 segments from 3 short-axis, vertical and horizontal slices. Scores were summed for each major arterial territory.

When more score than two grade-2's or one grade-3 was considered as the cue for significant stenosis for major arterial territories, 67% of 46 stenosed arteries were found with MIBI studies and 78% of them by rubidium studies. Fourteen among 28 grafted arterial territories of 12 post-CABG patients were found normal with both rubidium and MIBI.

Segmental scores were concordant between rubidium and MIBI in 72% of 709 stress segments and in 80% of 825 rest segments. Stress rubidium segmental scores were less than stress MIBI scores in 9%, so were rest rubidium scores. Stress rubidium scores were more than stress MIBI scores in 20% of segments, and rest rubidium segmental scores were more than rest MIBI scores in 11%. Rank correlations (Spearman's rho's more than 0.7(stress) and 0.5(rest), slopes (MIBI/rubidium) around 0.7(stress) and 0.9(rest)) suggested deeper and wider defects in stress with rubidium. Slope over 1 (MIBI/rubidium) with LAD segmental scores at rest and 7 territories which had much larger score with MIBI revealed exaggeration of rest defects with rest MIBI in same-day stress/rest study. Difference scores (stress-rest for each territory) suggesting ischemia were larger with ru-

본 논문은 '95년도 지정진료 연구비(02-95-202) 보조로 이루어졌음.

bidium (slope of MIBI/rubidium around 0.45).

As has been implied by animal or separate-day-human studies, these segmental analyses with simultaneous examination in patients told that rubidium PET flow studies disclose ischemia more often than MIBI studies and that rest MIBI studies in same-day stress/rest-sequence gave a little larger rest defect than they would have shown.

**Key Words:** Tc-99m-MIBI SPECT, Rb-82 PET, Dipyridamole stress, Segmental analysis

## 서 론

심근 Tc-99m-MIBI 단일광자단층촬영(single photon emission computed tomography: SPECT)은 관상동맥질환의 선별검사로서 또는 이미 알고 있는 관상동맥협착이 허혈의 원인인지 판단하기 위하여 널리 쓰이고 있다. 디피리다몰 약물부하 방법은 운동부하보다 간편하여 심근 SPECT의 부하 방법으로 많이 쓰인다<sup>1)</sup>.

하루안에 끝내는 심근 SPECT 때 디피리다몰부하의 경우 부하를 지켜보는 핵의학 의사의 업무효율상 부하 심근 Tc-99m-MIBI SPECT를 먼저하고 뒤에 휴식기 심근 Tc-99m-MIBI SPECT를 하는 검사실이 많다. 그러나 이 방법은 심한 운동성허혈을 경색으로 잘못 알게되는 경우가 있어 휴식기를 먼저 촬영하도록 추천한 보고가 있다<sup>2)</sup>. 휴식기를 먼저 검사하고 오후에 부하검사를 하는 것은 반대로 가벼운 허혈을 놓칠 가능성이 있으며 환자에게 부하를 가하는 것이 오후라는 불편이 크다<sup>3)</sup>.

Rubidium-82(Rb-82)는 심근혈류 대 제거율비가 가장 직선에 가깝다고 알려져 있고 반감기가 매우 짧아 휴식/부하 순서의 검사를 짧은 기간에 마칠 수 있다<sup>4,5)</sup>. Tl-201 SPECT와 Rb-82 PET의 진단성능을 비교한 결과가 Rb-82 PET이 관상동맥질환을 찾는 데 우수하며 혈류와 혈류여유량의 작은 변화도 쉽게 찾을 수 있음을 확인하였다<sup>6)</sup>. Tc-99m-MIBI와도 한 환자에서 직접 비교가 가능하여, 한번 가한 디피리다몰부하 때 Tc-99m-MIBI와 Rb-82 를 동시에 주사하여 휴식기와 부하기에 각각의 단층상을 얻어 비교할 수 있다<sup>7-9)</sup>.

이 연구에서 저자들은 휴식/부하 순서의 Rb-82 양전자단층촬영(positron emission tomography: PET)을 시행하며 한 번 디피리다몰 부하시에 Tc-

99m-MIBI을 함께 주사하고 SPECT를 t서행한 후 이어 같은날 휴식기 Tc-99m-MIBI SPECT를 시행하여 두 검사방법으로 관류감소를 찾아내는 성능을 직접 비교하였다. 이로써 Rb-82 PET에 나타나는 관류이상과 비교하여 Tc-99m-MIBI 휴식/부하 하루내검사 SPECT방법이 휴식기 또는 부하기 혈류감소를 어느정도 찾는지 평가하였다.

## 대상 및 방법

### 대 상

23명의 관상동맥질환자와 6명의 정상결과를 보인 검사자를 대상으로 하였다. 남자 17명과 여자 12명으로 나이는 39세에서 76세 까지(평균나이 58세) 분포 하였으며 23명 중 12명은 관상동맥우회로수술(coronary artery bypass graft: CABG)을 받은 환자들이었다. 환자들은 모두 하루전에 심장관계 약물을 끊었으며 이틀이상 카페인 들어 있는 기호식품과 음료를 삼가하고 밤새 공복상태를 유지하였다. 환자들은 검사에 대해 설명을 듣고 병력상 기관지천식이 없었음을 밝힌 뒤 심장부하의 위험성을 납득하고 동의서에 서명하였다.

### 방 법

#### 1. 휴식/부하 Rb-82 PET

PET 스캐너는 ECAT-Exact 47(Siemens, TN, USA)를 이용하였고 Sr-82/Rb-82 발생기는 TRIUMF(Canada)에서 제공한 Sr-82 2775 MBq (75 mCi)와  $\alpha$ -stannic acid 컬럼크로마토그래피 재료를 이용하여 저자등이 정 등의 보고와 같이<sup>4)</sup> 만들어서 발열원(pyrogen) 검사를 하고 Sr-82 탈출현상이 없다는 것을 매일 아침 검사후 사용하였다.

검사용 탁자에 누워 투과스캔을 20분간 시행한 후 하바드펌프를 이용하여 분당 8 ml의 속도로 Sr-82/

Rb-82 발생기로부터 Rb-82를 용출하여 정맥에 주입하였다. 주입이 끝난지 30초후부터 3초 20단위, 5초 10단위, 20초 10단위로 동적영상획득을 하여 획득영상을 합성하는 방법으로 6분동안의 정적영상을 만들었다.

디피리다몰을 0.14 mg/min/몸무게kg 만큼되게 4분간 계속 주입하고 주입이 끝난 3분 후에 Rb-82를 주입하기 시작하였으며 이때 Tc-99m-MIBI 925 MBq (25 mCi)를 주사하였다. 역시 휴식기 Rb-82 영상을 얻을 때와 같이 부하후 Rb-82영상을 얻었다.

Hanning 여과기에 차단주파수는 0.40으로 여과하여 재구성하고 투과스캔으로부터 얻은 감쇠지도를 바탕으로 심장 횡측단면상을 얻었다. 심장의 장축을 정하고 수평장축영상과 수직장축영상을 만들고 장축에 수직인 단축영상을 구성하였다.

## 2. 부하/휴식 Tc-99m-MIBI SPECT

디피리다몰 주입 후 Rb-82를 주사할 때 함께 주사한 Tc-99m-MIBI 의 영상은 30분후 달걀과 우유를 먹어 간에서 Tc-99m-MIBI 배설을 촉진 한 후 주사 시점에서 1시간 쯤에 얻었다. 삼중헤드SPECT에 고 해상평행조준기(high resolution parallel collimator)를 장착하여 3도씩 120투사 모두 360도 투사영상을 획득하였다. 360도 투사영상 120개모두를 이용하여 Butterworth여과기를 이용하여 차단주파수 0.27 근처에서 차수 5가 되도록 여과하여 횡측단면상을 만들었다.

횡측단면상으로부터 장축을 정하고 수평장축, 수직장축, 단축영상을 구성하였다.

## 3. Rb-82 PET과 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수평가

단축영상을 심첨부, 중간부와 기저부의 셋으로 나누어 각각 6개의 분절씩으로 수평장축영상은 5개의 분절로 수직장축영상은 8개의 분절로 나누어 모두 29개의 관류정도를 정상 0부터 관류감소가 가벼운 1등급에서 결손으로 보이는 4등급까지 모두 다섯등급으로 나누어 평가하였다. Tc-99m-MIBI SPECT 영상은 감쇠보정되지 않은 이미지임을 고려하여 하벽과 심층격벽의 관류가 정상적으로 작게보이는 것을 염두에 두고 영상을 평가하였으며 Rb-82 PET의 영상은 사방심근벽이 동등한 밝기를 보여야 한다는 기준으로 평가하였다.

분절점수 평가는 저자들 중 두사람이 합의하여 평가하는 방식을 택하였고 Rb-82 PET을 모두 관독하여 점수를 매긴 후 Tc-99m-MIBI 단층상을 모두 관독하여 점수를 매기고 다시 Rb-82 PET을 한번더 모두 관독하여 점수를 매기는 방식으로 PET과 SPECT의 장단점에 따라 편견을 갖고 판정할 가능성을 줄였고, PET의 경우 58개의 단층영상(29명의 휴식/부하 영상)을 평가할 때 일상검사로 수행하므로 관독하는데 익숙한 SPECT와 달리 Rb-82 단층영상이 관독하는데 덜 익숙하여 생길 수 있는 관독의 치우침의 가능성을 줄였으며, 쌍으로 판정하였을 때 하나를 판정한 결과가 다른 것을 판정하는 데 영향을 미치게 되는 것을 최소화하였다.

## 결 과

### 1. 협착관상동맥심근영역의 발견율

관상동맥질환에 23예 중 12예는 관상동맥우회로수술 후 허혈이 의심되어 Tc-99m-MIBI SPECT를 의뢰한 예이었다. 나머지 11예의 33개 동맥 영역중에는 32개 동맥영역이 50% 이상 협착이 있음이 관상동맥조영술로 확인된 예이었다. 거의 전례에서 관상동맥조영술 결과를 아는 상태에서 Tc-99m-MIBI SPECT를 의뢰한 경우이었으며 해당동맥의 협착이 허혈 또는 경색과 관련있는지 여부를 판정하기 위한 경우이었다. 분절점수로 세 동맥영역의 관류감소가 유의한지는 주로 부하 단층영상에 등급 2인 분절이 둘이상이거나 등급 3이상인 하나이상 있는 경우를 유의한 관류이상 부위로 판정하는 기준을 썼다.

12예의 관상동맥우회로 수술에 환자는 36개 동맥 영역중 28개 영역이 우회수술 받은 곳이었었는데 이중 14영역은 Tc-99m-MIBI SPECT와 Rb-82 PET에 모두 정상임이 확인되었으며 14영역은 Tc-99m-MIBI SPECT와 Rb-82 PET 양쪽 또는 어느하나에 허혈 또는 지속관류결손(persistent defect)이 관찰되었다.

모두 46곳의 동맥영역(32 수술전 예+14 수술후 예)들 중 Rb-82 PET 으로는 78%가 Tc-99m-MIBI SPECT 으로는 67%부위가 유의한 관류감소를 보였다. 정상으로 판정된 6예의 경우는 1예는 관상동맥조영술상 정상이고 나머지는 조영술을 시행하지 않

표 1. Rb-82 PET과 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수

부하	Rb-82 PET					Tc-99m-MIBI SPECT				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
0	442	1	54	41	12	631	13	59	12	1
1	0	0	0	1	0	8	2	2	0	0
2	11	0	25	10	11	19	1	12	3	1
3	7	0	11	16	9	12	1	8	10	0
4	6	0	9	17	26	3	0	13	10	4

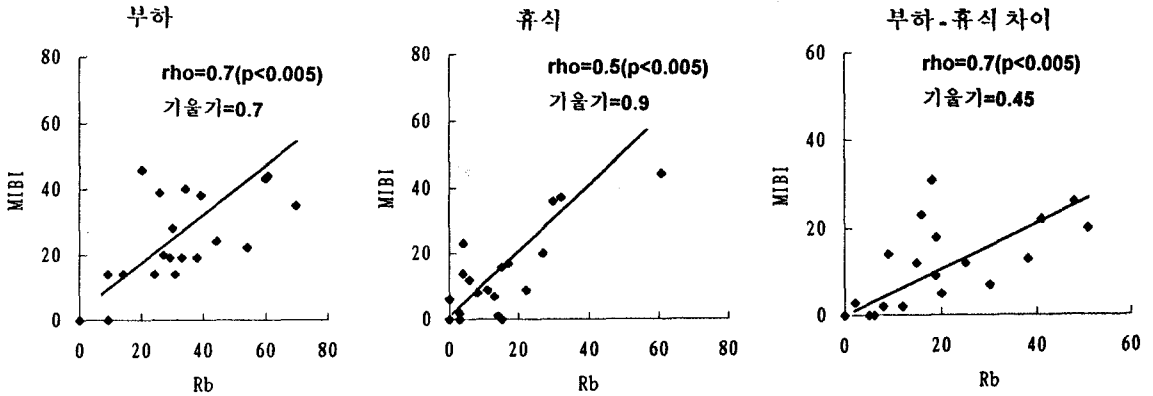


그림 1. Rb-82 PET과 Tc-99m-MIBI SPECT의 동맥영역별 합산분절점수의 상관.

았으며 Rb-82 PET과 Tc-99m-MIBI SPECT 모두 정상으로 읽혔다.

**2. Rb-82 PET과 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절별 점수비교(표 1)**

부하기 분절 전체 841개 중 비교가 가능했던 709개 중에서 72%에서 Rb-82 PET과 Tc-99m-MIBI SPECT 점수 등급이 정확하게 일치하였다. 휴식기 분절 전체 841개중 역시 비교가 가능했던 825 분절중 80%의 분절이 두 단층영상의 분절점수등급이 정확히 일치하였다. 부하기 Rb-82 PET의 분절점수가 부하기 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수보다 높은 예가 분절전체의 20%를 차지했다. 반면 부하기 Rb-82 PET의 분절점수가 부하기 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수보다 낮은 예는 분절들의 9%에서 이었다. 휴식기 Rb-82 PET의 분절점수가 휴식기 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수보다 높은 예는 모두 11%이었고 휴식기 Rb-82 PET의

분절점수가 휴식기 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수보다 낮은 예는 모두 9%이었다.

**3. 동맥영역별로 합산한 분절점수의 Rb-82 PET과 Tc-99m-MIBI SPECT 비교(그림. 1)**

각 동맥영역별로 분절점수를 합산하여 얻은 Rb-82 PET과 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수가 부하기와 휴식기의 동맥영역의 관류상태를 나타낸다고 가정하고 비교에 이용하였다<sup>1)</sup>. 세동맥영역을 차이없이 Rb-82 PET과 Tc-99m-MIBI SPECT 점수쌍을 일렬로 세워 두 방법에 의한 합산점수쌍을 비교하였다.

Spearman의 순서상관 분석으로 Rb-82 PET의 분절점수와 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수의 상관을 찾았다. 순서상관이 Spearman의 rho가 부하기에는 0.7(p<0.005), 휴식기에는 0.5(p<0.005)이었다. 기울기가 세로축에 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수를 두고 가로축에 Rb-82 PET의 분절점수를 두었

- 이동수 외 8인 : 휴식/부하 심근 Rubidium-82 양전자단층촬영과 부하/휴식 심근 Tc-99m-MIBI 단일광자단층촬영의 비교 -

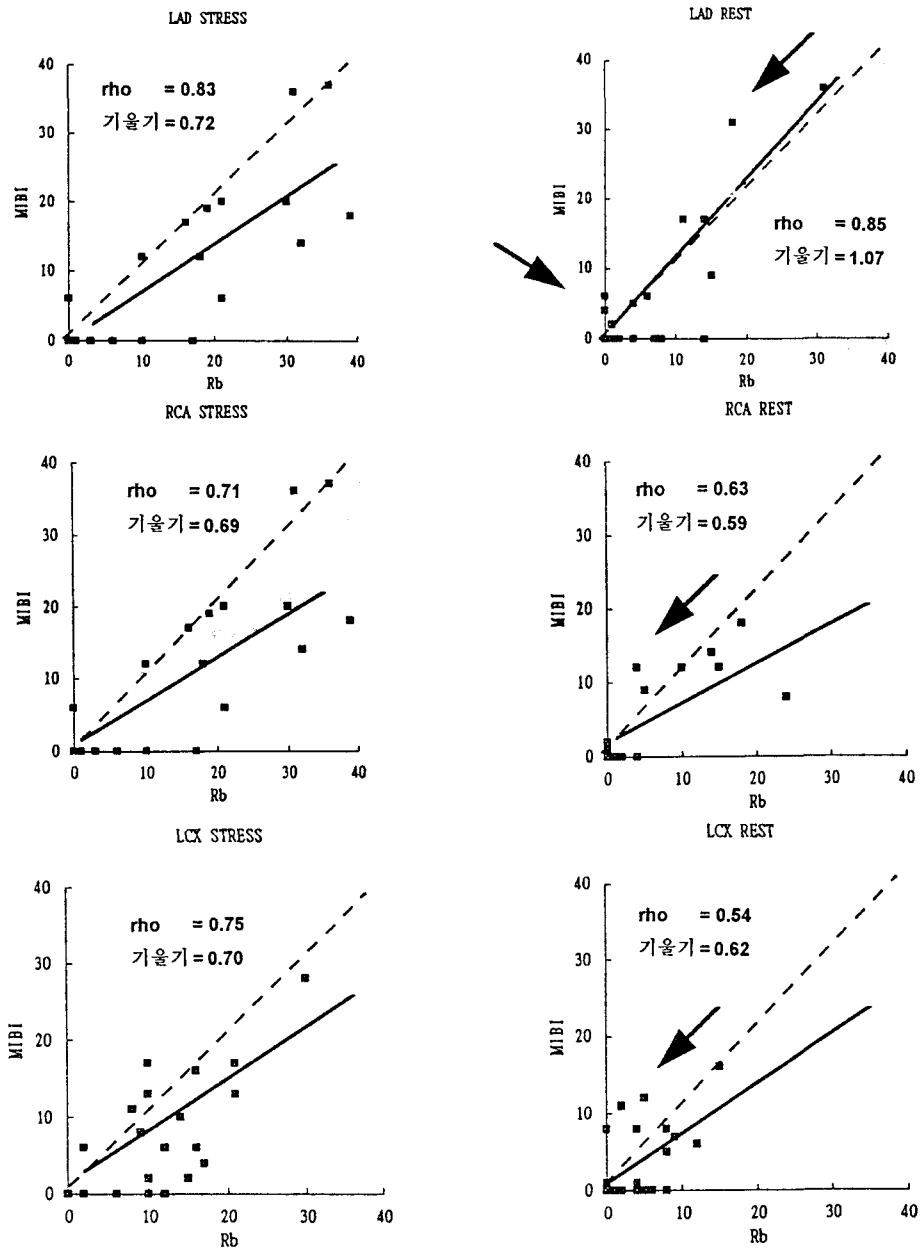


그림 2. LAD, RCA, LCX 동맥영역별 합산 분절점수의 상관  
점선은 세로축과 가로축의 값이 같은 동일선이다. 화살표는 Tc-99m-MIBI 점수가 Rb-82점수보다 뚜렷이 큰 예들이다.

을 때 부하기에 0.7로써 Tc-99m-MIBI SPECT 의 분절점수가 Rb-82 PET 혈류결손점수보다 작게 읽혔음을 시사하였다. 휴식기에는 기울기가 0.9이어서 두 검사의 단층영상이 서로 대등함을 나타냈다.

각 동맥영역별로 부하기 분절점수를 합산한 값에서 휴식기 분절점수를 합산한 값의 차이를 허혈을 나타내는 차이점수로 볼 때 Rb-82 PET의 분절점수와 Tc-99m-MIBI SPECT 의 분절점수의 상관성을 보았을 때

그 기울기(Tc-99m-MIBI/Rb-82)가 0.45로서 Rb-82 PET이 찾아낸 허혈의 크기보다 Tc-99m-MIBI SPECT가 찾아낸 허혈의 크기가 작았다.

#### 4. 동맥영역별 협산 분절점수 비교결과와 동맥영역별 특징(그림. 2)

상관의 정도(Spearman의 rho)는 부하기는 좌전하행동맥(left anterior descending artery: LAD)이 0.83, 우측관상동맥(right coronary artery: RCA)이 0.71, 좌회선동맥(left circumflex artery: LCx)이 0.75이었다. 휴식기에는 LAD가 0.85, RCA가 0.63, LCx가 0.54로 측벽의 관류평가가 비교적 이산되어 있는 경향을 보였다.

세로축에 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수를 두고 가로축에 Rb-82 PET의 분절점수를 둔 기울기가 부하기에는 LAD, RCA, LCx 각각 0.72, 0.69, 0.70으로 차이가 없었고 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수가 뚜렷이 큰경우는 없었다.

위의 기울기가 휴식기에는 LAD, RCA, LCx 각각 1.07, 0.59, 0.62로 LAD영역은 Tc-99m-MIBI SPECT로 판정한 분절점수가 Rb-82 PET보다 컸다. Tc-99m-MIBI SPECT의 분절점수가 Rb-82 PET보다 뚜렷이 큰경우(협산 분절점수차이 5이상)도 7명역으로 하루검사 부하/휴식 순서의 Tc-99m-MIBI SPECT의 휴식기 관류평가 점수가 Rb-82 PET 휴식기 관류평가보다 대체로 큰 경향을 보일 뿐 아니라 뚜렷한 차이를 나타낸 예도 있었다.

### 고 찰

Tc-99m-MIBI SPECT를 디피리다몰 부하후 촬영하는 경우 부하영상을 먼저 얻고 기다려서 휴식기 영상을 얻는 방법이 널리 쓰이고 있다<sup>10)</sup>. 이때 부하기 단층영상을 읽어 부하기에 조금이라도 관류가 감소된 곳을 찾는 것은 관상동맥질환 이환여부를 찾는 데 매우 예민한 방법이다. 그러나 부하기에 심근에 분포한 방사능이 4시간이상 지난후에도 아직 심근에 남아있고 그위에 휴식기에 주사한 Tc-99m-MIBI의 분포를 보아야 하므로 휴식기의 관류결손이 실제보다 크게 나타날 수 있음이 알려졌다<sup>2)</sup>. 휴식기 관류결손여부로 심근 생존여부를 판정하고자 할 때 하루내검사로 부하/휴

식의 순서로 촬영한 이미지를 판독하면 생존심근을 지속적 결손부위로 보아 생존능력이 없는 심근으로 판단하게 된다. 하루내 부하/휴식 순서의 Tc-99m-MIBI SPECT는 관상동맥질환 유무를 판정하는데 알맞지만 생존심근을 찾아내는데는 위음성예(생존심근을 죽은 심근으로 잘못알게 되는 예)가 많아 적절하지 않다<sup>2,3)</sup>.

Rb-82 PET으로 심근혈류를 평가하면 혈류가 많이 감소된 곳부터 부하후 3-5배 증가한 경우까지 실제 혈류량을 가장 직선적으로 반영한다고 한다<sup>11-13)</sup>. 대신에 Tl-201이나 Tc-99m-MIBI는 혈류가 증가된곳의 혈류를 과소평가하고 감소된 곳의 혈류는 과대평가하여 단층영상을 읽을 때 실제 차이보다 작게 나타난다<sup>14)</sup>. 따라서 이 연구에서 부하기 Tc-99m-MIBI SPECT의 결손보다 부하기 Rb-82 PET의 관류결손이 더 크게 보일 수 있고 실제 더 크게 보였다. 디피리다몰으로 부하를 가하고 나서 Tc-99m-MIBI를 주사하고 동시에 Rb-82를 주사하여 PET을 촬영한 후 이어 SPECT를 촬영하였다. 이런 중복검사가 가능한 것은 PET 스캐너 안에 30mCi의 Tc-99m이 있을 때 배후방사능만 검출되었다는 결과와 Tc-99m-MIBI SPECT를 시행하는 주사후 1시간후에는 이미 반감기의 수십배가 지나 SPECT에 잔류방사능이 거의 검출되지 않기 때문이었다. Tl-201 SPECT와 Rb-82 PET을 비교하는 연구<sup>7-9)</sup>보다 Tc-99m-MIBI SPECT를 직접 비교하는 것이, Tl-201은 바로 촬영하여야 하는 대신 Tc-99m-MIBI는 1시간 후 촬영하였기 때문에 더 수월하였다.

Stewart등<sup>9)</sup>이 Tl-201 SPECT와 Rb-82 PET을 같은 환자에서 동시에 시행하여 얻은 결과는 다음과 같았다. 부하기 Tl-201 SPECT에 보이는 결손의 크기가 Rb-82 PET에 나타난 것보다 작아보였고 부하전에 촬영한 휴식기 PET에 보이는 결손의 크기보다 Tl-201 SPECT에 보이는 결손의 크기가 더 커 보였다. 부하기에는 Rb-82 PET에 관류감소가 크게 나타났으므로 재분포기에 Tl-201 SPECT에 보이는 관류감소가 큰것은 4시간 재분포시의 Tl-201분포가 휴식기 분포에 이르지 못하였기 때문이라 해석되었다. 따라서 부하/휴식기 순서로 촬영하는 Tl-201 SPECT에서는 휴식기를 모사(simulate)하기 위해 Tl-201을 다시 주사하기도 하고 다음날 지연영상을 얻기도 한다<sup>15)</sup>. 일회관류 추출효율은 Tl-201이 Tc-99m

-MIBI 보다 높으므로 Tl-201 대신 Tc-99m-MIBI SPECT 때에 더욱 Tc-99m-MIBI 영상에 Rb-82 보다 관류감소가 작게 나타날 가능성이 있다. 추출 효율만 고려하면 Tl-201 SPECT가 Tc-99m-MIBI SPECT 보다 허혈부위를 찾기 쉬울 것 같아 보인다. 그러나 Tl-201은 SPECT 촬영 중에도 이미 재분포가 시작하여 실제 부하기 SPECT 판독결과가 Tc-99m-MIBI SPECT 결과보다 좋다는 보고는 드물다<sup>16,17)</sup>. 우리들의 이 연구결과는 Tc-99m-MIBI SPECT의 부하혈류 점수판정이 Rb-82보다 조금 과소평가하였음을 나타냈다.

분절을 평가하는 판독자의 눈은 경험있는 핵의학의사의 경우라도 판독자간 또는 판독자사이의 일치도가 완전할 수 없다<sup>1)</sup>. 분절을 평가하는 판독자간 일치도는 Tc-99m-MIBI SPECT의 경우 저자들이 보고한 결과는<sup>1)</sup> 같은 이미지를 놓고도 80%에서만 일치하였고 20%는 조금씩 달랐다. 이 연구에서는 Tc-99m-MIBI SPECT와 Rb-82 PET 분절관류 판독결과를 비교하는 것이 목적이었으므로 저자들 중 두사람의 합의에 의해 관류등급을 부여하였다. 이 때 SPECT는 감쇠보정되지 않은 것을 고려하여 전후벽, 측벽중격의 정상 관류가 균등하게 보이지 않음을 고려하였고 PET은 전후측벽과 중격의 심근혈류가 같고 따라서 방사능 밝기도 같다는 가정을 바탕으로 허혈심근의 분절혈류점수를 부여하였다. 이는 분절의 관류감소판정 때에 일치도가 떨어지는 이유가 그 분절들이 속한 관상동맥영역의 질환이환여부를 판단할 때 주로 발생하는 해석차이 때문이었다는 저자들의 연구결과를 고려한 방법 설정이었다<sup>1)</sup>.

휴식기에는 80%의 분절의 점수판정이 완전히 일치하였고 부하기에는 72%에서 점수판정이 완전히 일치하였다. 이 정도의 일치도는 판독자간 비교에서 같은 Tc-99m-MIBI SPECT 분절혈류가 부하때와 휴식기 모두 80%내외의 일치도를 보였음을 고려하면 적절한 결과이었다. 부하기의 혈류일치도 72%는 그래도 낮았는데 그 이유는 Rb-82 PET에 나타난 혈류감소가 Tc-99m-MIBI SPECT에 나타난 혈류감소보다 큰 경우가 많았기 때문이다. 이것 뿐 아니라 Tc-99m-MIBI 분절점수/ Rb-82 분절점수 비(ratio)의 기울기가 0.7이었던 것으로 보아 Tc-99m-MIBI SPECT의 부하기 관류감소가 PET에 보인 관류감소보다 과

소평가된다고 생각하였다.

휴식기의 Tc-99m-MIBI SPECT 관류점수와 Rb-82 PET 관류점수는 비의 상관기울기는 0.9로서 큰 차이가 없는 것같이 보였다. 그러나 관류등급을 관상동맥영역별로 합산하여 Tc-99m-MIBI 관류점수와 Rb-82 관류점수를 비교하여 보니 좌전하행동맥영역은 1.07로 Tc-99m-MIBI SPECT로 판정한 관류감소 정도가 심한 경향이 보였고 46개의 이환 관상동맥영역 중에서 7개의 영역의 Tc-99m-MIBI SPECT의 점수합이 Rb-82 PET 점수합보다 5점 이상 컸다. 휴식기의 Tc-99m-MIBI SPECT가 4시간 전에 약물에 의한 부하를 받은적이 있으므로 대상 허혈 심근이 참 휴식기에 도달하지 못하였을 수가 있고 부하에 의해 3-5배로 늘어난 혈류를 따라 분포한 Tc-99m-MIBI의 방사능이 불균등하게 분포한 위에 부하때보다 1/3-1/5으로 준 혈류를 따라 분포한 Tc-99m-MIBI의 방사능으로 휴식기의 혈류 분포를 관찰하였기 때문에 생길 수 있는 현상이라 생각하였다.

이 연구결과는 아래 연구의 제한점을 제외하면 Rb-82 PET의 장점을 보여 주었다. 휴식/부하 순서의 Rb-82 PET은 1) 휴식기 Rb-82 PET이 참 휴식기 심근관류를 보여주고, 2) 누운 자리에서 검사가 끝나므로 심장위치 변동을 보정하지 않아도 되며, 3) Rb-82의 반감기가 짧아 환자가 움직이는 손실시간을 고려하여도 1시간이내에 모든 검사를 마칠 수 있으며, 4) 심근혈류의 넓은 범위에서 혈류를 있는 그대로 반영하였다. Rb-82 PET을 금과옥조(gold standard)로 가정할 때 이 연구결과는 Tc-99m-MIBI 하루내 디피리다몰 부하/휴식 순서의 심근관류 SPECT의 단점과 해석에 조심할 점을 보여주었다.

디피리다몰 부하/휴식 Tc-99m-MIBI SPECT의 이런 단점을 개선하기 위해 휴식/부하 순서의 Tc-99m-MIBI SPECT이 제안되었다<sup>2,3)</sup>. 휴식/부하 순서의 Tc-99m-MIBI SPECT는 휴식기가 참 휴식기라는 장점 이외에도 휴식기 Tc-99m-MIBI 섭취정도를 정량하여 휴식기 혈류감소에 따른 섭취정도가 심근의 생존 정도와 비례하므로 생존심근 평가에 쓸 수 있다는 제안도 있었다<sup>18)</sup>. 그러나 1) Tc-99m-MIBI SPECT 휴식기 심근관류를 보아 어느정도이어야 생존심근이 있는지 판단하는 역치 설정이 어렵고 참 휴식기의 Tc-99m-MIBI 결손도 모두 생존능력 없는 심근임을 뜻하

는 것이 아니고<sup>19)</sup>, 2) Tc-99m-MIBI SPECT 휴식기 방사능이 남아 있는 곳에 기다려서 부하기 Tc-99m-MIBI SPECT를 얻으면 배후방사능의 감춤효과 때문에 허혈부위를 못 찾을 수 있고 실제 못 찾는 경우가 있다는 보고가 있으며<sup>2)</sup>, 3) 휴식기에 1/3의 Tc-99m-MIBI 를 주사하고 SPECT를 촬영하므로 혈류가 많은 부하기에 1/3의 Tc-99m-MIBI를 주사하였을 때 보다 휴식기 단층영상의 질이 낮아 관독이 어렵다는 단점이 있다. 이런 원리상 단점말고도 오전에 Tc-99m-MIBI 의 간배설을 돕기 위해 지방식을 섭취시킨 후 오후에 부하를 가해야 한다는지 오후 늦은 시간까지 심장부하검사를 시행하는 데 따른 인력배치와 환자 간호상 문제점들이 있다.

휴식/부하 또는 부하/휴식 Tc-99m-MIBI SPECT로는 관상동맥질환 진단과 생존심근을 찾는 두가지 목표를 동시에 이루기 어려우므로 휴식 Tl-201/부하 Tc-99m-MIBI/지연 Tl-201 SPECT가 대안이 될 수 있을 것으로 보인다<sup>15)</sup>. Tl-201의 국내생산량이 제한되어 있고 수입 Tl-201이 미리 예약하여야 하는 어려움이 있음과 Tl-201의 계수효율이 영상구성에 썩 적절하지 않음, 그리고 Tl-201 재분포영상도 생존심근을 과소평가하므로 재주사 또는 지연영상을 얻어야 함을 고려하면 부하기 심근관류를 평가하는데 Tc-99m-MIBI SPECT가 가진 장점을 살려 쓰는 것이 좋다고 생각한다.

### 이 연구의 제한점

이 연구에서 저자들은 관상동맥조영술로 확인한 협착과 Rb-82 PET 결과를 비교한 저자들의 검사정확성 데이터를 제시하지 않고 Rb-82 PET 결과를 해석하였다. 따라서 Rb-82 PET가 정확하다는 가정은 Gould<sup>20)</sup>, Grover-McKay 등<sup>21)</sup>, Marwick 등<sup>7)</sup>, Stewart 등<sup>8)</sup>, MacIntyre 등<sup>22)</sup>의 결과를 바탕으로 한 것이었다. 대상환자 29명 중 12명의 환자는 CABG 후의 환자로서 관상동맥질환 이환여부는 확실하였으나 검사당시 관상동맥조영술을 되풀이하여 원래 협착동맥의 협착진전이나 우회로의 협착이나 폐색에 대한 정보를 얻지 않았다. 이 연구 결과는 관상동맥질환을 진단할 때 디피리다몰 Rb-82 PET나 Tc-99m-MIBI SPECT의 관상동맥질환 검출예민도나 특이도를 제시한 것으로 해석될 수 없다. 포함된 CABG 후의 환자

예들은 따로 모아 추적관찰한 결과를 바탕으로 다시 분석하여야 할 것으로 생각한다. 그러나 Marwick 등은 CABG후 환자들에서 Rb-82 PET이 허혈을 일으킬 만한 원래 동맥이나 우회동맥의 협착을 잘 찾았다고 보고하였다<sup>23)</sup>.

6명의 정상인은 Rb-82 PET 과 Tc-99m-MIBI SPECT 양쪽에 모두 정상이라고 해석되었으나 한 예를 제외하고는 관상동맥조영술로 확인하지는 않았다. 따라서 이 연구의 정상판정율이 정상검출률(normalcy ratio)를 제안하는 결과는 아니었다. 총 841분절 중 부하기는 709분절, 휴식기는 841분절에서 비교가 가능하였고 따라서 일부 제외한 분절이 있었는데 이렇게 일부 분절을 분석에서 제외한 것은 영상획득 오류 또는 재구성시 오류발생으로 PET영상을 구성하지 못한 것과 심장의 일부가 촬영영역 바깥으로 빠져나갔기 때문이었다. 이 연구에서 우리는 이것이 데이터 해석의 치우침을 만들지 않았을 것으로 가정하였다.

### 요 약

휴식/부하 Rb-82 PET으로 평가한 심근혈류와 부하/휴식 Tc-99m-MIBI SPECT 심근혈류평가소견을 비교하였다. 관상동맥질환에 이환된 23명의 환자와 6명의 정상인에서 휴식기 Rb-82 PET을 촬영한후 디피리다몰 부하를 가하면서 Rb-82 PET을 촬영하고 Rb-82주사와 동시에 주사한 Tc-99m-MIBI의 SPECT를 1시간 후 촬영하였다. 4시간 후에는 휴식기 Tc-99m-MIBI SPECT 촬영을 하였다. 수직, 수평장축과 세 단축상에서 29개의 분절들의 관류점수를 정상부터 결손까지 5개 등급으로 나누어 점수판정하고 동맥영역별 점수는 합산한 값을 영역의 점수로 삼았는데 점수 2점인 분절이 둘 이상 또는 3점인 분절이 하나이상일 때 해당 관상동맥의 협착이 유의하다고 보았다.

46개의 동맥영역이 협착된 동맥에 의해 혈류공급을 받는 심근인데 이중 78%가 Rb-82 PET에서 확인되었고, 67%가 Tc-99m-MIBI SPECT에 이상을 나타냈다. 12명환자는 CABG 수술후의 환자였는데 이환 동맥 28개 영역 중 14 영역이 Rb-82와 Tc-99m-MIBI에 모두 정상으로 판명되었다. 부하기심근분절은 모두 709 분절이 비교가능하였는데 이중 Rb-82와



Tc-99m-MIBI 분절혈류접수가 일치한 것이 72% 이었고 휴식기 825 분절중에는 80%가 접수등급이 일치하였다. 휴식기 Rb-82 혈류접수가 Tc-99m-MIBI 보다 작은 경우가 9%, 큰경우가 11%이었고 부하기 Rb-82 접수가 Tc-99m-MIBI보다 작은 경우가 9%, 큰 경우가 20%이었다. Spearman의 순서상관 분석에 Rb-82 PET의 분절접수와 Tc-99m-MIBI SPECT의 분절접수 사이에 구한 상관계수 rho는 부하기에는 0.7( $p < 0.005$ ), 휴식기에는 0.5( $p < 0.005$ )이었다. 기울기는 Tc-99m-MIBI SPECT분절접수/Rb-82 PET분절접수로 표현한 상관기울기는 부하기 0.7, 휴식기에 0.9이었다. 좌전하행동맥영역의 기울기는 Tc-99m-MIBI SPECT/Rb-82 PET 분절접수비로서 1보다 컸고 46동맥중에서 7동맥영역이 Tc-99m-MIBI SPECT 에서 휴식기 결손의 정도가 심했다. 부하기와 휴식기의 접수의 차가 허혈정도를 나타낸다 할 때 Rb-82 PET에 더 크게 나타났다.

이 심근분절혈류감소 비교 결과로 보아 Rb-82 심근 관류PET 검사가 하루안에 시행하는 부하/휴식순서의 Tc-99m-MIBI 심근관류.SPECT 보다 더 큰 허혈부위를 찾아주며, 부하 4시간후 휴식기 Tc-99m-MIBI SPECT에 휴식기 Rb-82 PET 보다 더 큰 결손이 관찰됨을 알았다.

### 감사의 글

Sr-82/Rb-82 발생기를 만드는 원료를 제공한 캐나다 TRIUMF사에 감사한다. 이곳에서 모두 4번에 걸쳐 제공한 Sr-82로 만든 발생기를 PET검사에 사용하였다. 발생기를 만든 이홍재씨, PET 촬영/재구성에 수고한 김문혜씨에게 감사한다.

### REFERENCES

- 1) 여정석, 이동수, 이경환, 김종호, 손경수, 조성옥, 광철은, 정준기, 이명철, 고창순 :  $^{99m}Tc$ -MIBI 심근 SPECT의 분절 육안 분석시 관독자간의 일치도. 대한핵의학회지 26:317-325, 1994
- 2) Taillefer R, Gagnon A, Laflamme L, Gregoire J, Leveille J, Pohaneuf D-C: Same day injections of Tc-99m methoxy isobutyl isonitrite (hexamibi) for myocardial tomographic imaging:

Comparison between rest-stress and stress-rest sequences. Eur J Nucl Med 15:113-117 1989

- 3) Heo JK, Kegel J, Iskandrian AS, Cave V, Iskandrian BB: Comparison of same day protocols using technetium-99m-sestamibi myocardial imaging. J Nucl Med 33:186-191 1992
- 4) 정재민, 정준기, 이동수, 광철은, 이경환, 이명철, 고창순 :  $^{82}Sr/^{82}Rb$  발생기의 제조 및 정상인 심근의 양전자 단층촬영상. 대한핵의학회지 26:326-330, 1994
- 5) Shea MJ, Wilson RA, deLandsheere CM, Deanfield JE, Watson IA, Kensett MJ, Jones T, Selwyn AP: Use of short- and long-lived rubidium tracers for the study of transient ischemia. J Nucl Med 28:989-997 1987
- 6) Go RT, Marwick TH, MacIntyre WJ, Saha GB, Neumann DR, Underwood DA, Simpfendorfer CC: A prospective comparison of rubidium-82 PET and thallium-201 SPECT myocardial perfusion imaging utilizing a single dipyridamole stress in the diagnosis of coronary artery disease. J Nucl Med 31:1899-1905, 1990
- 7) Stewart RE, Popma J, Gacioch GM, Kalus M, Squicciarini S, al Aouar Z, Schork MA, Schwaiger M: Comparison of thallium-201 SPECT redistribution patterns and rubidium-82 PET rest-stress myocardial blood flow imaging. Int J Card Imaging 10:15-23, 1994
- 8) Marwick TH, Go RT, MacIntyre WJ, Saha GB, Underwood DA: Myocardial perfusion imaging with positron emission tomography and single photon emission computed tomography: frequency and causes of disparate results. Eur Heart J 12: 1064-1069, 1991
- 9) Stewart RE, Schwaiger M, Molina E, Popma J, Gacioch GM, Kalus M, Squicciarini S, al Aouar ZR, Schork A, Kuhl DE: Comparison of rubidium-82 positron emission tomography and thallium 201 SPECT imaging for detection of coronary artery disease. Am J Cardiol 67: 1303-1310, 1991
- 10) 이명철, 이동수, 이명용, 최창운, 손대원, 정준기, 이명목, 박영배, 이명철, 서정돈, 이영우, 고창순 : 관동맥질환에서 디피리다몰부하  $^{99m}Tc$ -MIBI 심근 SPECT 극성결손지도를 이용한 관동맥질환진단의 남녀비교. 대한핵의학회지 27:59-64 1993
- 11) Wilson RA, Shea M, Landsheere CD, Deanfield J, Lammertsma AA, Jones T, Selwyn AP: Rubidium-82 myocardial uptake

- and extraction after transient ischemia: PET characteristics. *J Comput Assist Tomogr* 11:60-66 1987
- 12) Huang SC, Williams BA, Krivokapich J, Araujo L, Phelps ME, Schelbert HR: Rabbit myocardial  $^{82}\text{Rb}$  kinetics and a compartmental model for blood flow estimation. *Am J Physiol* 256:H1156-H1164 1989
  - 13) Herrero P, Markham J, Shelton ME, Bergmann SR: Implementation and evaluation of a two compartment model for quantification of myocardial perfusion with rubidium-82 and positron emission tomography. *Circ Res* 70: 496-507, 1992
  - 14) 정준기 : 심근신틸그라피, 고창순 편저, 핵의학 pp 337-360, 서울, 고려의학, 1992
  - 15) Berman DS, Kiat H, Friedman JD, Wang FP, van Train K, Matzer L, Maddahi J, Germano G: Separate acquisition rest thallium-201/stress technetium-99m sestamibi dual isotope myocardial perfusion single-photon emission computed tomography: A clinical validation study. *J Am Coll Cardiol* 22:1455-1464 1993
  - 16) 범희승, 김지열, 박주형, 안영근, 정명호, 조정관, 박종춘, 강정채 :  $^{201}\text{Tl}$ 과  $^{99\text{m}}\text{Tc-MIBI}$ 에 의한 생존심근전단 비교. *대한핵의학회지* 26:274-279 1992
  - 17) Maublant JC, Marcaggi X, Lusson JR, Boire J-Y, Cauvin J-C, Jacob P, Veyre A, Cassagne J: Comparison between thallium-201 and technetium-99m methoxyisobutyl isonitrile defect size in single photon emission computed tomography at rest, exercise and redistribution in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 69: 183-187 1992
  - 18) Dilsizian V, Arrighi JA, Diodati JG, Quyyumi AA, Alavi K, Bachrach SL, Marin-Neto JA, Katsiyannis PT, Bonow RO: Myocardial viability in patients with chronic coronary artery disease. Comparison of  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi with thallium reinjection and  $^{18}\text{F}$ flurodeoxyglucose. *Circulation* 89:578-587 1994
  - 19) Althoefer C, vom Dahl J, Biedermann M, Uebis R, Beilin I, Sheehan F, Hanrath P, Buell U: Significance of defect severity in technetium-99m-MIBI SPECT at rest to assess myocardial viability: comparison with fluorine-18-FDG PET. *J Nucl Med* 35:569-574 1994
  - 20) Gould KL: Positron emission tomography and interventional cardiology. *Am J Cardiol* 66: 51F-58F 1990
  - 21) Grover McKay M, Ratib O, Schwaiger M, Wohlgeleitner D, Araujo L, Nienaber C, Phelps M, Schelbert HR: Detection of coronary artery disease with positron emission tomography and rubidium 82. *Am Heart J* 123:646-652 1992
  - 22) MacIntyre WJ, Go RT, King JL, Cook SA, Neumann DR, Saha GB, Antar MA: Clinical outcome of cardiac patients with negative thallium 201 SPECT and positive rubidium 82PET myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 34: 400-404, 1993
  - 23) Marwick TH, Lafont A, Go RT, Underwood DA, Saha GB, MacIntyre WJ: Identification of recurrent ischemia after coronary artery bypass surgery: A comparison of positron emission tomography and single photon emission computed tomography. *Int J Cardiol* 35: 33-41, 1992