

배후방사능제거가 심근내 Tl-201 생체역동학에 미치는 영향 ; 운동부하와 약물부하의 비교

경북대학교 의과대학 핵의학교실, 내과학교실*

안병철 · 이재태 · 천경아 · 조용근* · 채성철* · 전재은* · 박의현* · 이규보

= Abstract =

Effect of Background Subtraction on Thallium-201 Kinetics in the Myocardium :
Comparison Between Exercise and Pharmacologic Test
with Adenosine, Dipyridamole, or Dobutamine

Byeong Cheol Ahn, M.D., Jaetae Lee, M.D., Kyung Ah Chun, M.D.,
Yong Keun Cho, M.D.,* Shung Chull Chae, M.D.,* Jae Eun Jun, M.D.,*
Wee Hyun Park, M.D.,* Kyu Bo Lee, M.D.

Department of Nuclear Medicine and Internal Medicine,
Kyungpook National University Hospital, Taegu, Korea*

Background : Quantitative myocardial perfusion scintigraphy with thallium-201 has provided an increase in accuracy of coronary artery disease detection. Myocardial uptake and clearance data based on thallium-201 kinetics in normal subjects is using in quantitative interpretation of myocardial perfusion scan. Exercise and pharmacologic stress make different hemodynamic effects and different myocardial uptake and clearance of thallium-201. Effect of background subtraction on thallium-201 myocardial perfusion scintigraphy may also be different due to different thallium-201 biokinetics in each type of stress used. This study was aimed to evaluate the effects of the background subtraction on myocardial thallium-201 biokinetics according to the type of stress used.

Methods : Fifteen healthy volunteers underwent planar thallium-201 myocardial perfusion imaging with peak treadmill exercise and intravenous infusion of dipyridamole, adenosine, or dobutamine. Each subject underwent another planar thallium-201 myocardial perfusion imaging at 4 hour later, as a redistribution imaging. Count densities from ROI, (regions of interest) drawn over left ventricle, lung, and liver were compared between before- and after background subtraction.

Results : Before background subtraction, absolute myocardial thallium-201 uptake was greater after pharmacologic testing than exercise testing in both stress and redistribution imaging. Myocardial thallium-201 clearance was lower during pharmacologic stress than exercise. After background subtraction, myocardial thallium-201 uptake was higher during exercise than pharmacologic testing. The percentage change in clearance was higher with exercise testing, while the percentage change in uptake was higher with pharmacologic testing.

Conclusion : Thallium-201 uptake and clearance in heart and adjacent structure were different between adenosine, dipyridamole, dobutamine, and exercise testing. Background subtraction results in different myocardial uptake and clearance data due to different extracardiac uptake subtracted in each stress method. The diagnostic criteria for quantitative analysis of myocardial perfusion imaging must be specified for types of myocardial stress and processes used for background subtraction.

KEY WORDS : Thallium-201 biokinetics · Myocardial perfusion imaging · Background subtraction.

서 론

한국인에서도 관상동맥질환이 증가되고 있고¹⁾, 관동맥 풍선확장 성형술과 수술적 관동맥 성형술의 시행빈도도 점진적으로 높아지고 있다. 이에 따라 심근관류스캔을 이용한 허혈성 심질환의 진단 및 허혈심근의 생존여부 판단이 점차 중요시 되고 있다. 심근관류스캔의 정량적 판독법은 심혈관질환의 진단과 및 영상판독의 재현성을 높이며, thallium의 재분포와 제거율을 측정하여 허혈정도를 정량화 할 수 있다는 이점이 있어^{2,3)} 이의 이용이 점차 늘어나고 있다. 정량적 판독법은 정상인의 thallium 역동학 자료에 근거를 두고 있어, 정확한 정량적 판독을 위해서는 각각의 심부하 방법에 따른 정상인의 심근관류스캔에 관한 자료가 필요하다⁴⁻⁶⁾. 심장주위에는 폐, 간장, 장관 등이 있고, 평면 심근관류스캔시 이들 장기의 thallium 섭취정도는 심근내 thallium 섭취의 정량적 평가에 영향을 미칠 수 있다²⁾. 이러한 영향을 줄이기 위하여 배후 방사능의 제거를 시행할 수 있으며, 배후 방사능 제거는 심근부하방법에 따라 심근의 thallium 섭취 및 제거에 동일하지 않는 영향을 미치게 된다. 이 연구는 평면 심근관류영상에서 심부하 방법에 따라 배후 방사능의 제거가 thallium의 심근내 섭취정도 및 제거율에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 15명의 건강한 지원자를 대상으로 운동부하 심근관류스캔과 adenosine, dipyridamole 및 dobutamine을 이용한 약물부하 심근관류스캔을 시행하여, 각각의 검사법에 따른 차이를 비교분석 하였다.

연구대상 및 방법

자의 동의서를 받은 15명의 남자 지원자를 대상으로

하여 운동부하와 adenosine, dipyridamole 및 dobutamine을 이용한 3번의 약물부하후 thallium-201 심근관류스캔을 시행하였다. 이들 지원자의 연령은 23세에서 30세 사이로 평균 26세였으며, 심장질환의 병력이나 검사 실시 당시 복용하는 약물은 없었다. 운동부하는 답차를 이용한 Bruce protocol에 따라 시행하였으며 최고의 운동시 2mCi의 thallium-201을 정맥주사하고 1분간 더 운동시켰다. Adenosine 심근부하는 경북대학교병원 약제부에서 adenosine(Sigma, USA) 분말을 용해시켜 제조한 0.3% adenosine을 이용하였다. Adenosine 주사는 140ug/kg/분의 용량으로 6분간 정맥주사하였으며, adenosine 투여를 시작한 3분후에 thallium-201 2mCi를 정맥주사하였다. Dipyridamole 심근부하는 Persantine[®](Behringer-Ingelheim, USA)을 0.14mg/kg/분의 용량으로 4분간 정맥주사하였으며, dipyridamole 주입이 끝나고 3분이 더 경과한 후 thallium-201 2mCi를 정맥주사하였다. Dobutamine 심부하는 Dobutamine[®](Leiras, Finland)를 이용하였으며, 5ug/kg/분의 용량으로 시작하여, 3분마다 단계적으로 용량을 증가시켜 최대 40ug/kg/분의 용량까지 증량하였고, dobutamine의 최고투여용량에서 2mCi의 thallium-201을 정맥주사하였다. 평면영상 감마카메라(Basicam[®], Simens, USA)를 이용하여 전면상, 좌전사위 45°상 및 좌전사위 75°상으로 각각 8분간 심근관류영상을 얻어 컴퓨터(Microdelta[®], Siemens, USA)에 수록하였다. 부하영상은 thallium-201 주입후 10분에 시작하였으며, 재분포 영상은 4시간후에 시행하였다. 부하영상과 재분포영상에서 각각 7×7 pixel 크기의 정사각형 모양으로 관심영역(region of interest, ROI)을 그렸다. 전면상에서는 좌심실의 전외벽과 하벽, 간장 및 폐에, 좌전사위 45°상에서는 심격벽, 좌심실 후외벽, 간장 및 폐에, 좌전사위 75°상에서는 좌심실의 전벽과 후벽

및 폐에 관심영역을 그려, 각 부위의 thallium 섭취량을 구하였고, 부하 및 재분포 영상간의 심근 thallium 섭취량을 비교하여 thallium 제거율을 구하였다. Thallium 섭취량은 pixel당 평균계수로 하였으며 심근의 thallium 제거율은 아래식에 대입하여 구하였다.

심근 thallium 제거율=

$$\frac{\text{부하시 계수} - \text{재분포시 계수}}{\text{부하시 계수}} \times 100(\% / \text{시간})$$

배후방사능의 제거는 Goris 등⁷⁾이 제안한 bilinear interpolative background subtraction을 이용하였으며, 배후방사능을 제거한 후 위와 동일한 방법으로 심근의 thallium 섭취량과 심근의 thallium 제거율을 구하였다. 투여된 thallium-201의 방사능량은 아래의 식을 이용하여 2.0mCi가 투여된 것으로 보정하였다.

보정후 심근 thallium 섭취량 =

$$\text{측정된 섭취량} \times \frac{2.0}{\text{투여된 thallium-201량(mCi)}}$$

자료는 평균±표준편차로 표시하였으며 각 자료간의 비교는 paired t test(SPSS/PC version 4.0)를 이용

하여 p value 0.05미만을 유의수준으로 하였다.

결 과

1. 배후방사능 제거전 심근의 thallium 섭취량 및 제거율

심근의 thallium 섭취량은 운동부하시에 비하여 약물 부하시 유의하게 높았다. Adenosine 부하는 운동부하시에 비하여 1.3배 섭취가 높았으며, dipyridamole 부하는 운동부하시에 비하여 1.2배 섭취가 높았고, dobutamine 부하는 운동부하시에 비하여 1.4배 섭취가 높았다. 간장 및 폐의 thallium 섭취도 약물부하시 운동부하시보다 유의하게 높았다. 그러나 adenosine, dipyridamole, dobutamine 부하 사이에는 심근의 thallium 섭취에 차이가 없었으며, 간장 및 폐의 thallium 섭취에도 유의한 차이가 없었다(Table 1). 4시간 후 재분포영상에서는 부하영상보다 심근의 thallium 섭취가 감소하였으나, 간장의 경우는 재분포영상에서 부하영상보다 심근의 thallium 섭취가 더 높았다(Table 2). 부하영상과 재분포영상 사이의 심근의 thallium 제거율은 adenosine, dipyridamole, dobutamine 부하 모두에서 운동

Table 1. Thallium-201 activity(mean counts/pixel) in six ROIs drawn over myocardial region, and 2 ROIs drawn over lung and liver in stress images(before background subtraction)

	Exercise	Adenosine	Dipyridamole	Dobutamine
Anterolateral	408±58	501±94**	477±103***	502±78
Inferior	410±54	510±96	504±113***	544±81**
Posterolateral	387±47	508±89**	493±95	537±92**
Septum	389±52	531±109*	518±108*	558±99**
Anterior	340±42	497±95*	456±75*	460±89*
Inferoposterior	365±39	524±94*	503±77*	526±75*
Lung	115±14	192±21*	191±25*	183±20*
Liver	109±20	442±76*	440±79*	504±46**

* : p < 0.001 versus exercise, ** : p < 0.01 versus exercise, *** : p < 0.05 versus exercise

Table 2. Thallium-201 clearance(% washout/hour) in six ROIs drawn over myocardial region, and 2 ROIs drawn over lung and liver(before background subtraction)

	Exercise	Adenosine	Dipyridamole	Dobutamine
Anterolateral	12.9±1.0	9.8±1.7*	9.7±2.2**	11.0±1.9
Inferior	13.0±9.7	9.7±1.7**	10.1±2.3**	11.6±1.3**
Posterolateral	12.4±1.1	10.3±1.5**	10.4±2.3**	11.3±1.5***
Septum	12.0±1.0	10.3±1.9*	10.5±2.3	11.4±1.6***
Anterior	11.7±1.2	11.0±1.9*	10.8±1.9	11.3±1.8
Inferoposterior	11.7±1.2	10.7±1.6	11.0±1.6	11.5±1.3
Lung	7.9±1.7	9.8±1.2***	10.4±1.2**	8.7±1.5
Liver	-3.0±5.5	12.0±2.6*	12.5±3.7*	11.5±1.7**

* : p < 0.001 versus exercise, ** : p < 0.01 versus exercise, *** : p < 0.05 versus exercise

Table 3. Thallium-201 activity(mean counts/pixel) in six ROIs drawn over myocardial region in stress images(after background subtraction)

	Exercise	Adenosine	Dipyridamole	Dobutamine
Anterolateral	256±36	237±70**	202±64	230±65
Inferior	235±32	197±55	177±60**	198±63
Posterolateral	232±31	197±53	201±58	227±62
Septum	226±36	229±63	216±69	230±75
Anterior	195±29	216±54	197±48	198±55
Inferoposterior	218±24	217±54	213±51	223±48

** : p < 0.001 versus exercise

Table 4. Thallium-201 clearance in six ROIs drawn over myocardial region(after background subtraction)

	Exercise	Adenosine	Dipyridamole	Dobutamine
Anterolateral	15.1±1.0	8.8±3.9*	6.8±5.1**	11.5±3.8*
Inferior	15.8±1.3	7.6±4.6*	6.5±5.9*	11.5±3.8**
Posterolateral	15.6±1.2	8.4±4.7*	8.2±5.3*	11.9±3.1*
Septum	15.3±1.4	9.1±4.1*	8.6±4.6*	11.6±3.7**
Anterior	14.6±3.0	11.0±2.6*	10.9±3.2**	12.8±4.3
Inferoposterior	15.3±1.8	10.5±2.3*	9.9±3.3*	12.2±2.9

* : p < 0.001 versus exercise, ** : p < 0.01 versus exercise

Table 5. Percentage changes(%) of thallium-201 myocardial uptake and clearance due to background subtraction

	Exercise	Adenosine	Dipyridamole	Dobutamine
Uptake changes				
Anterior	38±3	54±9*	58±8*	56±7*
Inferior	44±3	60±8*	64±6*	64±8*
Clearance changes				
Anterior	11±3	-3±15*	-12±17**	-2±8*
Inferior	11±6	-6±13*	-14±21**	-4±9*

* : p < 0.001 versus exercise, ** : p < 0.01 versus exercise

부하검사보다 낮았으나 좌심실의 전벽과 후하벽에서는 유의한 차이가 없었다(Table 2).

경우 더욱 크게 변화하였다(Table 5).

고 안

2. 배후 방사능 제거후 심근의 thallium 섭취량 및 제거율

배후방사능의 제거후 심근의 thallium 섭취량은 약물 부하와 운동부하시에 차이가 없었고, 때로는 운동부하에서 더 높게 나타난 경우도 있었다. 또한, adenosine, dipyridamole, dobutamine 부하사이에도 심근의 thallium 섭취량에는 차이가 없었다(Table 3). 심근의 thallium-201 제거율은 운동부하를 한 경우 adenosine을 사용한 경우보다 1.7배, dipyridamole을 사용한 경우보다 1.8배, dobutamine을 사용한 경우보다 1.3배 더 높았다(Table 4). 배후방사능 제거에 의한 심근의 thallium 섭취량의 변화는 약물부하를 한 경우에 더욱 컸고, thallium 제거율은 운동부하시보다 약물부하의

심근관류스캔은 평면영상 혹은 단층촬영으로 검사를 시행하게 되며, 현재 우리나라에는 160군데의 기관에서 핵의학 검사를 시행하고 있으나 그 가운데 약 75% 정도의 기관에서는 단순평면 촬영만이 가능하다⁸⁾. 심근관류스캔은 적절히 이용하며, 평면영상만으로도 단층촬영 못지않게 심근의 허혈여부를 잘 찾아낼 수 있다. 평면 심근관류스캔의 판독에는 정성적인 방법과 정량적인 방법이 이용되고 있다. 정성적인 판독법은 좌심실의 한 분절에 대한 다른 분절의 thallium 섭취정도를 보고 판독을 하게 되므로, 판독자의 경험이 부족한 경우나 배후방사능의 제거를 적절하게 시행하지 못한 경우, 특히 좌측관상동맥 질환이나 다혈관 질환 경우에 잘못된 판독에 이르

게 될 수 있다^{9,10)}. 이러한 단점을 보완하기 위하여 사용되는 정량적 판독은 정상적인 심근관류스캔을 분석하여 얻은 자료를 기준으로 하여, 피검사의 자료와 비교함으로써 심근관류 영상을 판독하게 되는데, 정량적 판독은 정성적 판독에 비하여 전반적인 심혈관질환의 진단률이 높고, 영상판독의 재현성이 높으며, 심근허혈 정도를 정량화할 수 있어 협착된 혈관의 위치확인에 더욱 도움이 된다. 그 외에도 정량적 판독은 심근내 thallium의 재분포 정도 및 심근의 thallium 제거율도 정량화 할 수 있으며, 정상적인 변이 형태의 인식에도 도움이 된다^{2,3)}. 이러한 장점을 가진 정량적 판독은 정상인 관류스캔의 자료에서 유추되며, 이 정상인의 자료는 심근부하시 thallium의 심근내 역동학의 차이에 의하여 그 수치가 변하게 된다⁴⁾. 심근내 thallium 섭취정도는 혈류를 통한 심근으로의 thallium 운반과 심근의 thallium 추출율, 심근의 thallium 제거율 및 thallium의 자연적 방출능 붕괴에 의해 결정된다. 그 네가지 인자 가운데, 초기의 심근내 thallium 농도는 thallium의 혈류를 통한 운반과 심근의 thallium 추출율이 중요한 역할을 하게 된다¹¹⁾. 본 연구에서 처럼 약물부하를 시행한 경우 운동부하시보다 초기 심근내 thallium의 농도가 높은 것은 심박출량에 비한 관상동맥 혈류량의 증가가 약물부하시 더욱 뚜렷한데 기인된 것으로 생각된다¹²⁾. 심근의 thallium 추출율은 심근의 수축력 증가에 비례하여 증가하나, propranolol, insulin 등에 의해서는 거의 영향을 받지 않는다¹³⁾. 그러나 심근의 산소요구량보다 관상동맥의 관류량의 증가를 일으키는 adenosine이나 dipyridamole 등의 약물을 사용하면 심근의 thallium 추출율이 감소하는 것으로 알려져 있다¹³⁾. 이는 관상동맥의 혈류가 빨라서 심근세포와 혈액의 접촉시간이 단축되고 영양과 산소의 교환이 되지 않는 혈관을 통하여 혈류가 단락됨으로 인하여 일어나는 것으로 생각되고 있다^{3,11)}. Dobutamine은 심근수축력 증가와 관동맥 혈류를 증가시키므로 심초음파시의 부하제로 사용되는데, 다량을 주입한 경우는 beta2 교감신경을 자극하며 전신의 혈관을 확장함으로서 심장의 국소부위의 thallium 섭취를 증가시킨다¹⁴⁾.

시간경과에 따라 초기에 심근내 높은 농도를 유지하던 thallium은 혈액쪽으로 이동되게 되는데, 이를 thallium 심근제거(myocardial clearance)라고 한다. 심근에서의 thallium 제거는 관상동맥 혈류량과 혈중의

thallium 농도에 의해 영향을 받게 된다¹⁵⁻¹⁷⁾. 심근의 thallium 제거는 혈액에서 thallium 소실이 빠른 경우 더욱 빨라지게 되는데, 약물부하시에는 간장, 비장, 장관에 많이 축적된 thallium이 초기부터 서서히 혈중으로 빠져 나오게 되므로, 운동부하시보다 높은 혈중 thallium 농도를 유지하게 되고, 이로 인하여 심근의 thallium 제거율이 낮아지게 된다¹⁸⁾. 그러나 일부 연구에서는 높은 심근 thallium 제거율을 보인 군과 낮은 심근 thallium 제거율을 보인 군에서 혈중의 thallium 농도가 차이가 나지 않는다고 보고되기도 하였다¹⁹⁾. 그 외에도 부하시 thallium의 섭취량이 많을 경우 thallium 심근제거율이 높다고 보고되고 있으며^{20,21)}, 본 연구에서도 심근내 thallium의 섭취량이 많았던 약물부하에서 thallium 심근제거율이 더 높아 동일한 결과를 나타내었다. 그러나 좌심실 전벽과 후하벽에서 thallium 제거율이 운동부하와 약물부하 사이에 차이가 없게 나타났는데, 이는 전벽, 좌전사위 45°상, 좌전사위 75°상 순서로 영상 획득을 하여 마지막 영상시는 이미 일부의 재분포가 일어나, 심근과 주위조직의 thallium 섭취가 변동되었기 때문으로 생각된다.

심장주위에는 폐, 간장, 위장관이 있고 이들 장기의 thallium 섭취정도는 심근내 thallium 섭취의 정량적 평가에 영향을 미칠 수 있다²⁾. 이는 심장 양측에 있는 조직이나 장기 및 심장 후위에 있는 조직이나 장기에 존재하는 방사능의 Compton 산란에 의하여 발생하게 된다²²⁾. 그러므로 thallium-201 심근스캔의 정량적 판독시 단순히 각 pixel에서 동일한 양의 계수를 심근섭취량에서 제거하게 되면 심근이 불균등한 관류상태로 존재하는 것처럼 나타나게 되므로, 현재는 Goris 등⁷⁾에 의해 고안되고 Watson 등²³⁾에 의해 보안된 interpolative background subtraction이 이용되고 있다. 이 방법을 사용하면 한 pixel의 계수는 심장을 둘러싸는 사각형 테두리 4면의 계수에 의해 영향을 받게 되므로 심근주위 조직이나 장기의 계수가 높을수록 더 많이 보정이 되게 된다. 약물부하를 실시한 경우는 간장, 폐 및 장관 등 심장주위에 위치한 장기의 방사능이 운동부하시보다 더 높으므로, 배후방사능 제거시 약물부하에서 심근의 계수가 더 많이 감소하게 된다. 본 연구에서도 배후방사능 제거 후에는 약물부하시 심근 thallium 농도가 더 많이 감소하여 운동부하시의 심근 thallium 섭취농도와 비슷하게 나타났다.

본 연구의 결과는 심근 부하방법이나 배후방사능의 제거에 따른 심근내의 thallium 섭취량의 변화와 제거율의 변화는 심근 관류스캔의 정량적 평가에 기초가 되는 thallium 역동학에 영향을 주게 되므로, 심근부하 방법이나 배후 방사능의 제거 여부에 따라 허혈성 심장질환에 대한 다른 정량적 진단기준을 적용하여 심근관류스캔을 판독하여야 할 것으로 판단된다. 단일광자 방출 단층촬영술(SPECT)을 이용한 부하 심근관류스캔에서는 배후방사능의 영향이 줄어들게 되나 심근부하방법에 따른 심장 및 심장외 조직의 thallium 섭취 및 제거에 차이가 생기므로, 심근의 thallium 섭취 및 제거에 따른 심근허혈의 정량적 평가시 허혈성 심장질환에 대한 진단기준의 차별적 적용이 필요하리라 생각된다.

요 약

연구배경 :

심장주위에는 폐, 간장, 위장관 등이 있어, 이들 장기 of thallium 섭취량은 심근내 thallium 섭취의 정량적 평가에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 영향을 줄이기 위하여 시행하는 배후방사능의 제거는 심근부하방법에 따라 thallium 섭취 및 제거에 다른 영향을 미치게 된다. 본 연구는 thallium-201을 이용한 운동부하 혹은 약물부하를 한 심근관류스캔에서 이러한 배후방사능의 제거가 심근내 thallium 역동학에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

방 법 :

15명의 건강한 지원자를 대상으로, adenosine, dipyridamole 및 dobutamine을 이용한 약물부하 혹은 답차를 이용한 운동부하를 실시하면서 평면 심근관류스캔을 실시하고 4시간후 지연영상을 얻었다. 좌심실의 6분절, 폐 및 간장에 관심영역을 그려 단위면적당 계수치를 구하고 interpolative background subtraction을 이용하여 배후 방사능을 제거한 후 심근에 thallium 섭취 및 제거율의 변화를 구하였다.

결 과 :

배후방사능 제거전에는 약물부하 심근관류스캔에서 운동부하에 비해 심근의 thallium 섭취가 높고, thallium 제거율은 낮았다. 그러나 배후방사능을 제거한 후에는 약물부하 및 운동부하 심근관류영상에서 심근의 thallium 섭취에 유의한 차이가 없었다. 배후방사능 제

거전후의 심근의 thallium 섭취정도 변화는 약물부하에서 더 컸고, 심근의 thallium 제거율 변화는 운동부하에서 더욱 현저하였다.

결 론 :

심근관류스캔에 이용되는 부하방법에 따라 심장에 인접한 조직의 thallium 섭취가 달라지게 되고, 또한 정량적 심근스캔의 판독시 배후방사능의 제거는 심근의 thallium 섭취율과 제거율의 정량화에 영향에 있어, thallium-201을 이용한 생체 역동 영상의 해석에 영향을 주리라 생각된다.

References

- 1) 김일순 : 한국인 5대 사망원인질환의 현황과 추이. 대한의학협회지 38 : 132, 1995
- 2) Gerson MC : *Cardiac nuclear medicine*. 2nd Ed. p 14, New York, McGraw-Hill Inc, 1991
- 3) DePuey EG, Berman DS and Garcia EV : *Cardiac SPECT imaging*. p107, New York, Raven Press, 1995
- 4) Lee J, Chae SC, Lee KB, Heo J and Iskandrian AS : *Biokinetics of thallium-201 in normal subjects : Comparison between adenosine, dipyridamole, dobutamine, and exercise*. J Nucl Med 35 : 535, 1994
- 5) Massie B, Hollenberg M, Wisneski JA, Go H, Gertz EW and Henderson S : *Scintigraphic quantitation of myocardial ischemia : A new approach*. Circulation 68 : 747, 1983
- 6) Kaul S, Boucher CA, Newell JB, Chesler DA, Greenberg JM, Okada RD, Strauss HW, Dinsmore RE and Pohost GM : *Determination of the quantitative thallium imaging variables that optimize detection of coronary artery disease*. J Am Coll Cardiol 7 : 527, 1986
- 7) Goris ML, Daspt SG, McLaughlin P, McLaughlin P and Kriss JP : *Interpolative background subtraction*. J Nucl Med 17 : 744, 1976
- 8) 이동수 : 심장핵의학. 순환기 25 : 18, 1995
- 9) Maddahi J, Garcia EV, Berman DS, Waxman A, Swan HJC and Forrester J : *Improved noninvasive assessment of coronary artery disease by quantitative analysis of regional stress myocardial distribution and washout of Tl-201*. Circulation 64 : 924, 1981
- 10) Berger BC, Watson DD, Taylor GJ, Craddock GB, Martin RP, Teates CD and Beller GA : *Quantitative*

- titative thallium-201 exercise scintigraphy for the detection of coronary artery disease. *J Nucl Med* 22 : 585, 1981
- 11) Iskandrian AS : *Nuclear cardiac imaging : Principles and applications*. p82 Philadelphia, F.A. Davis Co, 1987
 - 12) Gould KL : *Coronary artery stenosis*. p 79, New York, Elsevier Science Publishing Co 1991
 - 13) Weich HF, Strauss HW, Pitt B : *The extraction of thallium-201 by the myocardium*. *Circulation* 56 : 188, 1977
 - 14) Robie NW, and Goldberg LI : *Comparative systemic and regional hemodynamic effects of dopamine and dobutamine*. *Am Heart J* 90 : 340, 1975
 - 15) Bergmann SR, Hack SN, Sobel BE : "Redistribution" of myocardial thallium-201 without reperfusion : Implications regarding absolute quantitation of perfusion. *Am J Cardiol* 49 : 1691, 1982
 - 16) Grunwald AM, Watson DD, Holzgreffe HH, Irving JF, Beller GA : *Myocardial thallium-201 kinetics in normal and ischemic myocardium*. *Circulation* 64 : 610, 1981
 - 17) Okada RD, Jacobs ML, Daggett WM, Leppo J, Strauss HW and Newell JB : *Thallium-201 kinetics in nonischemic canine myocardium*. *Circulation* 65 : 70, 1982
 - 18) Ruddy T, Gill JB, Finkelstein DM, Strauss HW, McKusick KA, Okada RD, and Boucher CA : *Myocardial uptake and clearance of thallium-201 in normal subject : Comparison of dipyridamole-induced hyperemia with exercise stress*. *J Am Coll Cardiol* 10 : 547, 1987
 - 19) O'Byrne GT, Rodriques EA, Maddahi J, Van Train KF, Wong C, Resser K, Friedman JD, and Berman DS : *Comparison of myocardial washout rate of thallium-201 between rest, dipyridamole with and without aminophylline, and exercise states in normal subjects*. *Am J Cardiol*. 64 : 1022, 1989
 - 20) Sklar J, Kirch D, Johnson T, Hasegawa B, Peck S and Steele P : *Slow late myocardial clearance of thallium : A characteristic phenomenon in coronary artery disease*. *Circulation* 65 : 1504, 1982
 - 21) Kaul S, Chesler DA, Pohost GM, Strauss HW, Okada RD and Boucher CA : *Influence of peak exercise heart rate on normal thallium-201 myocardial clearance*. *J Nucl Med* 27 : 26, 1986
 - 22) Goris ML : *Nontarget activities : Can we correct for them?* *J Nucl Med* 20 : 1312, 1980
 - 23) Watson DD, Campbell NP, Read EK, Gibson RS, Teates CD and Beller GA : *Spatial and temporal quantitation of plane thallium myocardial images*. *J Nucl Med* 22 : 577, 1981