

허혈성 심근 기능장애에서 술전 관류결손의 가역성에 따른 재관류 시술 이후 심근 기능회복 양상의 시간적 차이

서울대학교의과대학 핵의학교실, 흉부외과학교실¹

팽진철 · 이동수 · 김기봉¹ · 김유경 · 여정석 · 정준기 · 이명철

Difference of Time Course of Functional Recovery after Revascularization According to Preoperative Reversibility of Perfusion Impairment in Ischemic Myocardial Dysfunction

Jin Chul Paeng, M.D., Dong Soo Lee, M.D., Ki Bong Kim, M.D.,¹ Yu Kyeong Kim, M.D.,
Jeong Seok Yeo, M.D., June-Key Chung, M.D., Myung Chul Lee, M.D.

*Departments of Nuclear Medicine and Thoracic Surgery,¹
Seoul national University College of Medicine. Seoul, Korea*

Abstract

Purpose: In the revascularization of ischemic dysfunctional myocardium, stunned myocardium was reported to recover function earlier than hibernating myocardium. It was also suggested that stunning and hibernation could be discriminated by reversibility of perfusion impairment on myocardial SPECT. In this study, we investigated the time course of functional recover after CABG according to reversibility of perfusion impairment. **Materials and Methods:** In 92 patients with coronary artery disease, TI-201 rest/dipyridamole stress Tc-99m-MIBI gated SPECT was performed before, 3 months after, and 17 months after CABG. Using a 20-segment model, segmental perfusion and systolic thickening were automatically quantified. Perfusion-impaired segments with abnormal thickening were classified by reversibility into reversible (REV) and irreversible (IRREV) groups. The proportions of function-recovered segments were compared between groups and also between 3 months and 17 months in each group. **Results:** A total of 129 segments were included in the analysis, and 76 were REV and 53 were IRREV. At 3 months after CABG, 61 segments (80%) in REV group showed functional recovery while 28 segments (53%) in IRREV group did ($p < 0.001$). However, at 17 months after CABG, 60 segments (79%) in REV group and 37 segments (70%) in IRREV group showed functional recovery ($p = n.s.$). When comparing 3 months and 17 months in each group, REV group showed no difference, while IRREV group showed significant further improvement ($p < 0.05$). **Conclusion:** In viable myocardium with ischemic myocardial dysfunction, the segments with reversible perfusion impairment recover function earlier after revascularization than irreversible segments. (**Korean J Nucl Med 2001;35:364-370**)

Key Words : myocardial stunning, hibernation, revascularization, myocardial SPECT

Received Oct. 29, 2001; accepted Dec. 1, 2001

Corresponding author: Dong Soo Lee, M.D.

Department of Nuclear Medicine, Seoul National University College of Medicine

28 Yungun-dong Chongno-gu, Seoul, 110-744, Korea, Tel: (02)760-2501, Fax: (02)766-9083, E-mail: dsl@plaza.snu.ac.kr

서 론

허혈성 심근이 기능장애를 보일 경우, 생존능을 유지하고 있다면 그 심근은 기절심근 또는 동면심근으로 생각할 수 있다. 초기의 개념에 의하면 일시적 허혈로 유발된 기절심근과 지속적인 허혈에 의한 동면심근은 분명히 구분되는 것으로, 재판류에 의한 기능회복의 대상에는 대부분 동면심근만을 고려하였다.¹⁻³⁾ 그러나 동면심근은 단지 반복적인 기절심근일 뿐이라는 주장이 꾸준히 제기되어 왔고,⁴⁻⁷⁾ 최근에는 이 두 개념을 종합하여 기절심근과 동면심근이 지속적인 허혈에 대한 심근의 반응으로서 연속선상에 있는 것이라는 이론이 제기되고 있다.⁸⁻¹⁰⁾ 이런 경우 흔히 생존능이라고 표현되는, 재판류 이후의 심근 기능회복은 연속선상에 있는 기절심근과 동면심근을 모두 고려하여야 한다. 이러한 배경에서 최근, 재판류 시술 후 3개월과 14개월째 환자를 추적 관찰하였을 때, 기절심근 양상을 보인 심근이 조기에 기능회복을 보이고 동면심근 양상을 보인 심근의 기능회복은 상대적으로 늦다는 보고는 주목할만하다.¹¹⁾

한편, 기절심근과 동면심근이 연속선상에 있는 것임을 가정했을 때 이 둘의 중요한 구별점 중의 하나는 혈류 예비능이므로¹²⁾ 심근 SPECT 상에서 이들을 구분할 수도 있을 것이라는 추론이 가능하다. 심근 SPECT의 특성 상 혈류의 절대치를 측정할 수 없고 또한 정상심근조차도 혈류의 정상 변이가 넓은 범위에 걸쳐 있어¹³⁻¹⁴⁾ 직접적인 혈류의 평가는 어렵지만, 휴식기와 부하기 관류의 차이를 혈류 예비능의 단순화된 지표로 사용하여 구분에 이용할 수 있을 것이다. 최근에는 정량적 심근 SPECT 상에서 휴식기와 부하기 관류의 차이로 심근을 구분하였을 때, 각 군에서 생존능 예측의 양상이 다름이 보고되어 이러한 지표가 실제 임상적으로 유의미함을 보였다.¹⁵⁾

이 연구에서는 이러한 최근의 연구 보고들을 바탕으로, 허혈성 기능장애 심근의 재판류 시술 후 3개월과 17개월째 추적 관찰을 시행하여 기능회복 양상을 살펴보았다. 휴식기와 부하기 관류의 차이

를 한 지표로 설정하고, 이 지표에 따라 군을 나누어 각 군에서 기능회복의 시간 경과를 살펴봄으로써 기존에 보고된 기절심근과 동면심근의 기능회복 양상과 부합되는지 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상환자

관상동맥질환으로 서울대학교병원에서 관상동맥 우회로이식술(CABG)을 시행받은 환자 92명(남 67, 여 25, 평균 연령 59 ± 9 세)을 대상으로 하였다. 대상환자들은 모두 관상동맥혈관조영술을 시행받았으며 단일 혈관질환 2명, 두 혈관질환 25명, 세 혈관질환 65명이었다. 환자들의 좌심실 구혈률(LVEF)은 $50 \pm 14\%$ 였으며 수축기말좌심실용적(ESV)은 61 ± 44 mL였다. 14명에서는 과거 심근경색의 병력이 있었다. 질환이 있는 혈관 중 226개의 혈관분지에 대하여 우회로가 이식되었으며, 이를 혈관 영역으로 보면, 좌전하행동맥(LAD)은 90명, 좌회선동맥(LCX)은 75명, 우관상동맥(RCA)은 61명에서 우회로 이식이 이루어졌다. 수술 전후 심각한 합병증이 있는 예는 포함되지 않았다.

2. 검사 방법과 분석

1) 수술 전 및 수술 후 추적 심근 SPECT의 시행
CABG 시행 2주 전(15 ± 18 일)에 TI-201 휴식기/디피리다몰 부하 Tc-99m-MIBI 게이트 SPECT가 시행되었다. 먼저 안정 상태의 환자에게 TI-201 111 MBq을 주사하여 15분 뒤에 휴식기 영상을 얻었다. 이어 4분에 걸쳐 0.56 mg/kg의 디피리다몰을 주사하여 부하를 유도하고 3분 뒤에 Tc-99m-MIBI 925 MBq을 주사하였다. 지방식을 실시하고 부하 90분 뒤에 Tc-99m 게이트 심근 SPECT를 실시하여 부하기 영상을 얻었다.

환자에게 CABG가 시행되고 난 이후 3개월째(102 ± 14 일)와 17개월째(503 ± 78 일)에 수술 전과 같은 방식으로 TI-201 휴식기/디피리다몰 부하 Tc-99m-MIBI 게이트 심근 SPECT의 추적 검사가 시행되었다.

2) 영상 획득 및 분석

SPECT는 2중 헤드 감마카메라(Vertex EPIC, ADAC Labs., CA, USA)를 이용하여 실시하였다. 3도 간격으로 회전하며 32개의 영상을 얻었고, 각 영상마다 25초간 획득시간을 두었다. 게이트 영상은 미리 설정된 RR 간격에 대하여 심박 주기마다 16프레임으로 나누고 40% 창을 열어 얻었다. 영상의 재구성 시, Tl-201에 대하여는 차단 주파수 0.35, 차수 10, Tc-99m에 대하여는 차단 주파수 0.45, 차수 10의 Butterworth 저역통과 여과기를 이용하였다.

전반적인 영상의 질에 대한 육안 확인 후, 재구성된 영상은 자동 정량 소프트웨어 (AutoQUANT, ADAC Labs.)를 이용하여 분석하였다. 심근을 20 분절로 나누어(Fig. 1) 각 분절에 대한 관류와 수축기 두꺼워짐을 정량하여, 관류는 최고 방사능 섭취를 보이는 픽셀에 대한 백분율로, 수축기 두꺼워짐은 이완기말 심근 두께에 대한 백분율로 각각 나타내었다.

수술 전 기능장애 분절은 20% 이하의 수축기 두꺼워짐을 보이는 분절로 정의하였고, 3개월과 17개월째 기능회복은 수술 전에 비하여 10%포인트 이상 수축기 두꺼워짐이 호전된 분절로 정의하였다. 관류의 가역성을 나타내는 지표로 관류차이점수 (Perfusion Difference Score; PDS)를 설정하여 휴식기 관류 정량값에서 부하기 관류 정량값을 뺀 값으로 정의하였고, PDS가 큰 경우 관류 가역성이 큰 것으로 간주하였다.

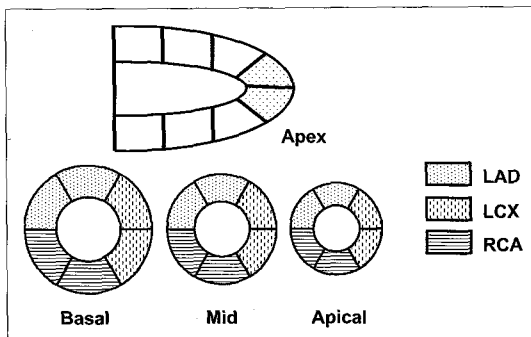


Fig. 1. Twenty-segment model. Each pattern indicates different vascular territory.

3. 결과분석 및 통계처리

수술 전 기능장애를 보인 분절로서 부하기 관류 결손을 보인 분절(부하기 관류≤60%)이 1차 분석 대상에 포함되었고, 이 중 수술 후 재관류가 성공적이었음을 전제하기 위하여 3개월과 17개월 모두에서 부하기 관류가 정상화된 분절을 선택하여 최종 분석대상으로 삼았다. 분석대상 분절을 PDS에 따라 관류결손의 가역성이 있는 군(REV; PDS>7)과 없는 군(IRREV; PDS≤7)으로 나누어 3개월과 17개월째 각각에서 기능회복을 보이는 분절의 분율을 두 군 간에 비교하였다. 또한 각 군 별로 3개월과 17개월 사이에 기능회복 분절의 분율에 차이가 있는지도 비교해 보았다.

두 군 간의 비교에는 Yates 연속성 보정을 시행한 χ^2 분석을 이용하였고, 각 군에서 3개월과 17개월을 비교하기 위해서는 McNemar χ^2 분석을 이용하였다. 모든 통계결과는 유의수준 5%에서 분석하였고, 통계분석에는 SPSS 10.05 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였다.

결 과

1. SPECT 상의 정량 자료

92명에게서 얻어진 총 1840분절 중 수술 전 기능장애를 보인 분절은 571개였고, 이 중 우회로 이식 영역에 포함된 것은 485개였다. 다시 이 중 부하기 관류결손을 보인 분절은 367개로, 이 가운데 CABG 후 3개월과 17개월째 부하기 관류가 정상화된 129분절이 최종 분석대상으로 포함되었다. 129분절의 수술 전 부하기 관류는 $40 \pm 9\%$, 휴식기 관류는 $61 \pm 12\%$, PDS는 $12 \pm 11\%$ 포인트였으며, 수축기 두꺼워짐은 $11 \pm 7\%$ 였다. 이 분절들을 PDS 값에 따라 나누었을 때, REV 군은 76분절, IRREV 군은 53분절이 각각 포함되었다. 두 군 간에 수술 전 수축기 두꺼워짐은 차이가 나지 않았다. 양 군 간에는 휴식기 관류의 차이가 두드러졌고, 부하기 관류도 통계적 유의성을 가지는 정도의 차이가 있었으나 오히려 IRREV 군이 더 좋은 값이어서 큰

의미를 두기는 어려웠다(Table 1). 양 군 간 PDS 값의 차이는 대부분 휴식기 관류의 차이에 의한 것이었다.

2. 각 군 별 기능회복의 시간적 차이

3개월째 추적 검사에서 양 군의 관류는 REV 군이 IRREV 군에 비해 더욱 호전되었으나 두 군 모두 거의 정상 수준에 가까운 정도의 호전을 보였으며, 이는 17개월째 추적 검사에도 큰 차이가 없었다(Table 2). 또한 REV 군에서는 뚜렷한 PDS의 회복도 관찰되었다. 기능회복을 보인 분절의 수는 3개월째 REV 군이 61개(80%), IRREV 군이 28개(53%)로 REV 군이 유의하게 많았다($p < 0.05$). 그러나 17개월째 추적 검사에서는 REV 군이 60개(79%), IRREV 군이 37개(70%)로 두 군 간에 차이가 없었다($p = 0.34$). 각 시기별 기능회복 분절의 분율은 Fig. 2에 도시되어 있다. 각 군 내에서 기능회복을 보인 분절을 3개월째와 17개월째 간에 비교해 보았을 때, REV 군은 두 시점 사이에 차이가 없어

추가 기능회복을 보인 분절이 없다고 할 수 있었으나($p = 0.96$), IRREV 군의 경우 두 시점 사이에 유의한 차이를 보여($p < 0.05$), 추가적인 기능회복을 보

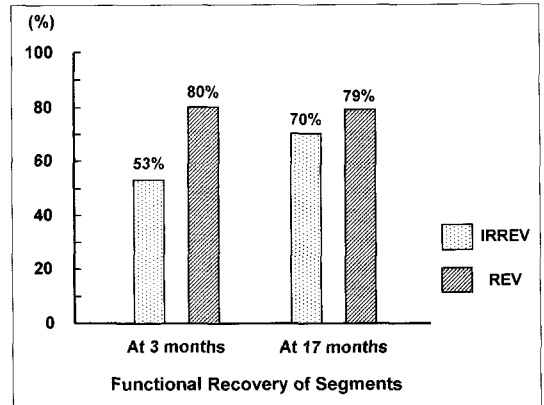


Fig. 2. Proportions of function-recovered segments. At 3 months after CABG, the IRREV group showed better functional recovery. However, there is no significant difference at 17 months after CABG.

Table 1. Preoperative Quantitative Data in Each Groups

	Total	REV	IRREV	p
Stress Perfusion	48±9%	47±9%	51±9%	0.01
Rest Perfusion	61±12%	66±10%	52±10%	<0.001.
PDS	12±11	20±7	2±4	<0.001
Systolic Thickening	11±7%	11±6%	11±8%	n.s.

Table 2. Postoperative Quantitative Data in Each Group

	REV	IRREV	p
3 months			
Stress Perfusion	67±8%	66±7%	
Rest Perfusion	71±8%	64±9%	
PDS	3±8	-1±7	
Functional Recovery	61 (80%)	28 (53%)	< 0.001
17 months			
Stress Perfusion	69±9%	66±7%	
Rest Perfusion	72±9%	63±9%	
PDS	2±7	-2±8	
Functional Recovery	60 (79%)	37 (70%)	n.s.

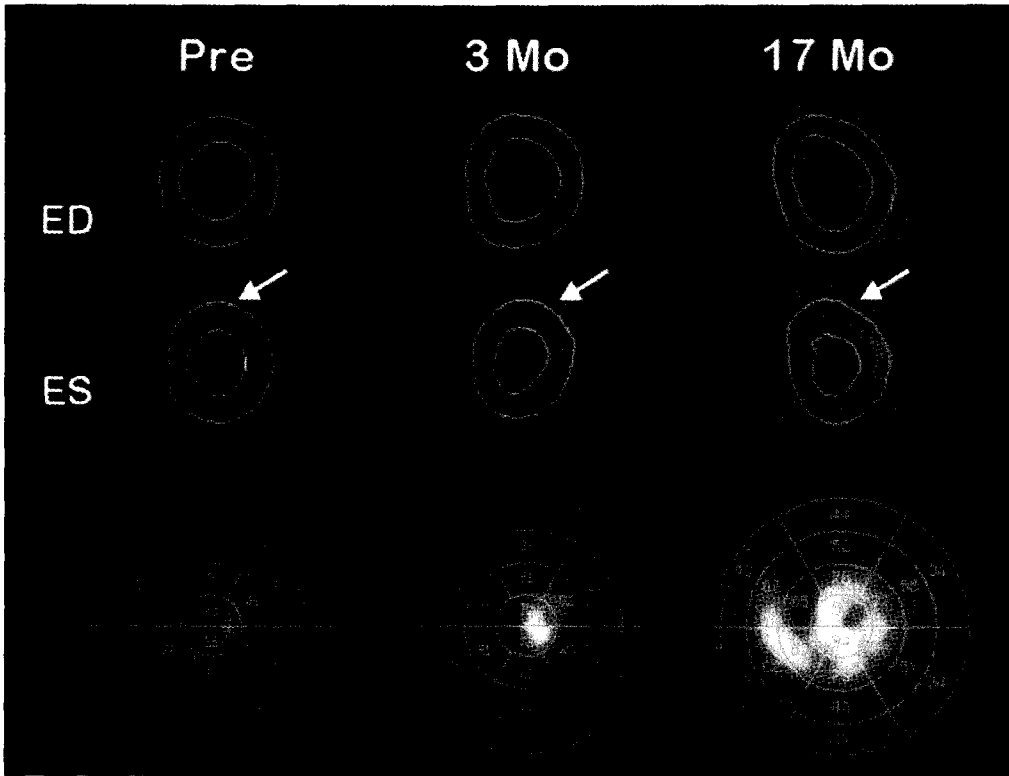


Fig. 3. A typical example of late functional recovery in IRREV group. ED and ES means end-diastolic and end-systolic images of short-axis view of basal myocardium, respectively. In this patient, preoperative systolic thickening of basal anterior and basal anterolateral segments were 0% and 2%, respectively, and they did not improved at 3 months after CABG (5% and 2%). However, they showed significant improvement at 17 months after CABG (44% and 34%, respectively).

인 분절(Fig. 3)이 존재함을 확인할 수 있었다.

고찰

이 연구에서는 허혈성 심근 기능장애에서 관류결손의 가역성이 있는 군은 초기에 거의 대부분(80%) 이 기능회복을 보이고 이는 1년여 뒤에도 큰 변화를 보이지 않는 반면, 관류결손의 가역성이 없었던 군은 초기에 기능회복을 보인 분절은 적었으나 (53%) 1년여 뒤에 추가적인 기능회복을 보이는 분절이 있음을 보였다. 이는 앞서 언급되었던 이전의 보고들과 잘 일치하는 결과이다.

기절심근과 동면심근이 허혈에 대한 심근 반응의 연속선상에 있는 것이라는 이론에 따르면, 심근 허혈이 진행하기 시작하면 초기에 혈류 예비능이 먼

저 감소하여 심근의 일시적인 기절 현상이 반복된다.¹²⁾ 여기서 허혈이 더욱 진행되면 반복적인 기절 현상이 보다 장기간 지속하게 되고, 궁극적으로는 심근 세포의 미소구조 및 생화학적 대사과정의 변화를 일으켜¹⁶⁾ 기능장애 상태에 빠지게 되는데 이 상태가 동면심근인 것이다. 따라서 기절심근과 동면심근은 연속선상에 있는 개념이다. Bax 등은, 병태생리에 대한 이러한 이해를 바탕으로 기절심근과 동면심근 모두를 포함하여 생존능, 즉 재관류 이후의 기능회복에 대한 연구를 진행하였고 그 결과 세포 구조 및 생화학적 대사과정의 변화까지 일어난 동면심근의 기능회복이 더 장기간에 걸쳐 일어남을 보고하였다.¹¹⁾ 이는 병태생리에 대한 이해와도 잘 일치한다.

휴식/부하 심근 SPECT에서 휴식기와 부하기의

관류 차이는 혈류 예비능의 지표로 사용될 수 있다. 심근 SPECT를 통해서 관류의 절대값을 측정하기는 어려운 일이지만, 이 연구에서 사용한 PDS와 같은 단순화된 지표 역시 임상적으로 유의미한 지표임이 보고되어 정량적 SPECT의 유용성을 보여 주었다.¹⁵⁾ PDS가 혈류 예비능을 반영한다고 할 때 정상 심근에서의 PDS는 낮은 값이지만 허혈이 진행하면 초기에 혈류 예비능의 저하로 인해 PDS가 상승하게 되고, 동면 상태에까지 이르게 되면 휴식기 관류 자체도 감소함으로 인하여 PDS는 다시 낮은 값을 보이게 됨을 예상할 수 있다. 즉, 관류결손이 있는 심근만을 택한다면 높은 PDS는 혈류 예비능의 저하만 있는 기절심근, 낮은 PDS는 휴식기 관류 자체도 감소한 동면심근을 시사할 것이다. 이 연구에서도 낮은 PDS는 대부분 부하가 관류가 높기 때문이 아니라 휴식기 관류가 낮은데 기인하는 것이었다(Table 1). 또한 결과적으로 높은 PDS를 보인 군은 Bax의 연구에서 제시된 기절심근, 낮은 PDS를 보인 군은 동면심근의 기능회복 양상을 보임으로써 이러한 추론에 타당성을 부여하고 있다. 한편 이 연구에서는 PDS의 기준값으로서 7을 택하였는데, 이는 여러 번의 시험 분석을 통해 두 군 간의 특성을 가장 잘 구분해 주는 값으로 결정된 것으로서 이전에 같은 유형의 연구에서도 택한 값이다.¹⁵⁾

이 연구에서는 분절별 심근 기능의 평가에 게이트 심근 SPECT를 이용하였다. 이 방법은 이미 재현성과 타당성에 대한 검증이 되어 있어 방법론적인 문제는 되지 않으나,¹⁷⁻¹⁸⁾ 대부분의 기관들이 하는 게이트 심근 SPECT 방식 상 부하 후 심근 기능이 평가되고, 이는 이 연구에서도 예외가 아니었다. 따라서 평가된 심근 기능은 어느 정도 부하 자극에 의한 기절현상을 포함하게 된다.¹⁹⁾ 이는 이 연구의 제한점이랄 수도 있으나, 기절현상 자체가 연구의 고려 대상에 포함되어 있으므로 결과나 추론의 타당성을 저해할만한 요인은 되지 못할 것이다. 실제로 부하 자극에 의해 심근의 기절현상이 일어나는 경우라면, CABG 시술 후 그런 현상이 없어진 것 자체도 유의미한 기능회복이며 또한 환자의 임상적 호전이라고 볼 수 있다.

다만 이 연구의 분명한 제한점은 심근 생존능에

대한 평가와 재관류 후 관상동맥 평가를 시행하지 못했다는 것이다. 그러나, 성공적인 CABG 후의 관상동맥조영술은 윤리적 문제를 야기할 수도 있으며 일반적인 환자진료 방식도 아니어서, 이 연구에서는 SPECT 상의 관류 호전으로 대신하였다. 또한 수술 전 심근 생존능 평가는 시행 못하였으나 수술 후 관류 호전 분절만을 택함으로써 연구 결과 해석에 큰 장애는 되지 않았을 것으로 생각한다.

요 약

목적: 허혈성 심질환에서 재관류 이후 기절심근이 동면심근보다 빠른 기능회복을 보임과, 심근 SPECT 상의 관류결손 가역성에 따라 기절심근과 동면심근이 구별 가능함을 시사하는 최근의 보고들을 바탕으로, 수술 전 관류결손 가역성에 따라 CABG 이후 심근 기능회복의 시간경과에 차이가 있는지 알아보고자 하였다. **대상 및 방법:** 92명의 허혈성 심질환 환자에서 CABG 이전, 3개월 후, 17개월 후에 TI-201 휴식기/디피리다몰 부하 Tc-99m-MIBI 게이트 SPECT를 실시하고, 각 영상에서 심근을 20분절로 나누어 각 분절의 관류와 수축기 두꺼워짐을 자동정량 소프트웨어를 이용하여 정량하였다. 관류결손과 두꺼워짐 이상을 보인 심근을 관류결손 가역성 있음(REV)과 없음(IRREV)의 두 군으로 나누고, 각각의 군에서 CABG 후 10% 이상의 두꺼워짐 호전을 기능회복으로 정의하여 3개월과 17개월째 심근의 기능회복 양상을 비교해 보았다. **결과:** 129분절이 분석대상에 포함되어 76분절이 REV, 53분절이 IRREV 군으로 분류되었다. 이 중 3개월째 기능회복심근은 REV군이 61개(80%), IRREV 군은 28개 (53%)로 유의한 차이를 보였다($p<0.001$). 그러나 17개월째에는 REV 군이 60개(79%), IRREV의 군이 37개 (70%)로 두 군간 차이가 없었다($p=n.s.$). 한편 각 군 내에서 3개월과 17개월의 기능회복 분절을 비교하였을 때, REV 군은 차이가 없었으나($p=n.s.$) IRREV 군은 17개월째 기능회복 심근이 3개월보다 유의하게 많았다($p<0.05$). **결론:** 생존능이 있는 허혈성 기능장애 심근에서, 관류결손의 가역성이 없는 심근은 가역성이 있는

심근보다 재관류 이후 기능회복이 지연되어 있다.

참 고 문 헌

- 1) Rahimtoola SH. A perspective on the three large multicenter randomized clinical trials of coronary bypass surgery for stable angina. *Circulation*. 1985;72:V123-V135.
- 2) Braunwald E, Rutherford JD. Reversible ischemic left ventricular dysfunction: evidence for the hibernating myocardium. *J Am Coll Cardiol*. 1986;8:1467-1470.
- 3) Rahimtoola SH. The hibernating myocardium. *Am Heart J*. 1989;117:211-221.
- 4) Camici PG, Wijns W, Borgers M, De Silva R, Ferrari R, Knuuti J, et al. Pathophysiological mechanisms of chronic reversible left ventricular dysfunction due to coronary disease (hibernating myocardium). *Circulation*. 1997;96:3205-3214.
- 5) Wijns W, Vatner SF, Camici PG. Hibernating myocardium. *N Engl J Med*. 1998;339:173-181.
- 6) Vanoverschelde JL, Wijns W, Depre C, Essamri B, Heyndrickx GR, Borgers M, et al. Mechanisms of chronic regional postischemic dysfunction in humans: new insights from the study of noninfarcted collateral-dependent myocardium. *Circulation*. 1993;87:1513-1523.
- 7) Shen YT, Vatner SF. Mechanism of impaired myocardial function during progressive coronary stenosis in conscious pigs. Hibernatin versus stunning? *Circ Res*. 1995;76:479-488.
- 8) Fallavollita JA, Perry BJ, Cauty JM Jr. 18F-2-deoxyglucose deposition and regional flow in pigs with chronically dysfunctional myocardium: evidence for transmural variations in chronic hibernating myocardium. *Circulation*. 1997;95:1900-1909.
- 9) Shivalkar B, Flameng W, Szilard M, Pislaru S, Borgers M, Vanhaecke J. Repeated stunning precedes myocardial hibernation in progressive multiple coronary artery obstruction. *J Am Coll Cardiol*. 1999;34:2126-2136.
- 10) Cauty JM Jr, Fallavollita JA. Chronic hibernation and chronic stunning: A continuum. *J Nucl Cardiol*. 2000;7:509-527.
- 11) Bax JJ, Visser FC, Poldermans D, Elhendy A, Cornel JH, Boersma E, et al. Time course of functional recovery of stunned and hibernating segments after revascularization. *Circulation*. 2001;104[suppl I]:I-314-I-318.
- 12) Cauty JM Jr. Myocardial perfusion-contraction matching. In: Heyndrickx GR, Vatner SF, Wijns W. Stunning, hibernation, and preconditioning: clinical pathophysiology of myocardial ischemia. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997. p.49-68.
- 13) Heusch G. Hibernating myocardium. *Physiol Rev*. 1998;78:1055-1085.
- 14) Cauty JM Jr., Fallavollita JA. Rest myocardial flow in hibernating myocardium: validating animal models of human pathophysiology. *Am J Physiol*. 1999;277:H417-H422.
- 15) Paeng JC, Lee DS, Cheon GJ, Kim KB, Yeo JS, Chung J-K, et al. Consideration of perfusion reserve in viability assessment by myocardial ²⁰¹Tl rest-redistribution SPECT: A quantitative study using dual isotope SPECT. *J Nucl Cardiol*. 2001 (in press)
- 16) Borgers M. Pathologic findings in chronic hibernating myocardium. In: Heyndrickx GR, Vatner SF, Wijns W. Stunning, hibernation, and preconditioning: clinical pathophysiology of myocardial ischemia. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997. p.287-306.
- 17) Germano G, Erel J, Lewin H, Kavanagh PB, Berman DS. Automatic quantitation of regional myocardial wall motion and thickening from gated technetium-99m sestamibi myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 1997;30:1360-1367.
- 18) Paeng JC, Lee DS, Cheon GJ, Lee MM, Chung J-K, Lee MC. Reproducibility of an automatic quantitation of regional myocardial wall motion and systolic thickening on gated Tc-99m-MIBI myocardial SPECT. *J Nucl Med*. 2000;42:695-700.
- 19) Lee DS, Yeo JS, Chung J-K, Lee MM, Lee MC. Transient prolonged stunning induced by dipyridamole and shown on 1- and 24-hour poststress ^{99m}Tc-MIBI gated SPECT. *J Nucl Med*. 2000;41:27-35.