

정량적 게이트 심근관류 SPECT

경북대학교 의과대학, 핵의학 교실

안병철

Quantitative gated myocardial perfusion SPECT

Byeong-Cheol Ahn, MD, PhD.

Department of Nuclear Medicine, Kyungpook National University Hospital, Daegu, Korea.

Abstract

Myocardial perfusion imaging has been increasingly used to provide prognostic data and guidance on the choice of appropriate management of patients with known or suspected coronary artery disease. The electrocardiogram gated myocardial SPECT program is coming into wide use with an advent of ^{99m}Tc -labeled tracers and an improvement of SPECT machines. The gated technique permits measurement of important cardiac prognostic indicators without any further discomforts or radiation burden in patients underwent standard myocardial perfusion SPECT. In addition, gated study significantly improves diagnostic yield by reducing the number of borderline interpretations and could find myocardial stunning and viable myocardium. Gated single photon emission computed tomography (SPECT) imaging allows the automated calculation of end-diastolic volume, end-systolic volume, ejection fraction, myocardial mass and the assessment of regional wall motion and thickening, and it have dramatically improved assessment of coronary artery disease in routine nuclear practice. This allows the simultaneous assessment of both perfusion and function within the same acquisition, and serves as a cost-effective technique for providing more diagnostic data with fewer diagnostic tests. Because the diagnostic and prognostic power derived from knowledge of left ventricular function can be added to that provided by assessing myocardial perfusion, gated SPECT imaging has rapidly gained widespread acceptance and is now used on a routine clinical basis in a growing number of laboratories, including South Korea. The gated SPECT technique for measurement of left ventricular parameters has been validated against a variety of well established techniques.

In this work, overview of gated myocardial perfusion SPECT focus on functional parameters is presented.

Key Words : Gated SPECT, Myocardial perfusion, Functional parameter, Quantification

서 론

심근관류용 방사성 의약품으로 thallium-201 chloride가 널리 사용되어 왔으나, 현재는 발생기에서 쉽게 구할 수 있는 Tc-99m을 표지한 심근관류용 방사성 의약품들이 더 많이 이용된다. 이러한 Tc-99m 표지 방사성 의약품을 사용하게 되면, Tc-99m의 반감기가 6시간으로 짧아 많은 양의 방사능을 투여할 수 있고, 감마선 에너지가 140keV여서 감마카메라 영상을 얻기에 적합하여, 게이트 심근관

Received August. 8, 2003; accepted August. 14, 2003

Corresponding Author : Byeong-cheol Ahn MD, PhD.

Department of Nuclear Medicine, Kyungpook National University Hospital

52, Samduck-dong 2Ga, Daegu, KOREA

Tel : 053)420-5583. Fax : 053)422-0864

E-mail: abc2000@knu.ac.kr

* 이 논문은 원자력 중장기연구개발사업의 일부지원으로 이루어졌음.

류 SPECT의 영상획득이 용이하다. 또한 게이트 심근관류 SPECT 영상을 분석하는 프로그램의 발달과 컴퓨터 성능의 발달로 게이트 분석자료의 획득도 짧은시간 내에 얻을 수 있게 되었다. 심근관류 SPECT에 게이트법의 적용으로 피검자의 불편함 증가나 방사선 피폭 증가 없이, 심근관류 상태에 대한 정보와 함께 좌심실 기능에 대한 자료를 쉽게 구할 수 있게 되었다.¹⁻⁵⁾

현재 한국에서도 심근관류 SPECT 시행시 게이트법을 적용하는 경우가 획기적으로 증대되고 있으며, 대학병원 수준을 가진 많은 병원에서 게이트법을 시행하고 있는 실정이다.⁶⁾ 게이트법을 적용함으로써 얻을 수 있는 자료를 적절하게 이용하면 불필요한 심장관련 부수적 검사를 줄일 수 있으며,⁶⁾ 심장 전문의를 포함한 다방면의 임상가에게 심근관류 SPECT의 유용성을 더 많이 알려 심장핵의학 검사의 수요를 증대시킬 수 있을 것이다. 이러한 심장핵의학의 보편화는 임상핵의학의 위상을 높이는데 일조할 수 있으리라 생각된다.

본 종설에서는 게이트 심근관류 SPECT에서 얻을 수 있는 정보중 심근관류에 대한 평가법을 제외한 좌심실 용적, 좌심실 구혈률, 좌심근 질량, 심근의 운동 및 두꺼워짐 등을 포함한 좌심실 기능지표에 대하여 주로 언급하고자 한다.

게이트 심근관류 SPECT 영상획득 원리

게이트 심근관류 SPECT 는 심박 운동과 심실 구혈률을 평가하는데 사용되었던 게이트 혈액풀 스캔의 원리를 심근관류 SPECT에 적용한 방법으로, 혈액풀이 아니라 심근을 영상화 한다는 점과 평면영상이 아니라 단층영상이라는 점이 게이트 혈액풀 스캔과 차이점이 있다.

게이트 심근관류 SPECT 영상을 얻기 위해서는 표준 SPECT 영상획득(standard SPECT acquisition)과 유사하게 감마카메라의 검출기(detector)가 피검자의 장축 주위로 회전하면서, 많은 수의 평면 투사영상을 일정한 각도마다 획득한다. 그러나, 표준 영상획득법과 달리 심전도를 기준으로 하여 심박 주기를 8개 혹은 16개의 구간(frame)으로 나누어 각 투사영상을 분할하여 분할 단위영상을 획득하고, 각각 단위 영상에서 획득한 영상자료들을 이용하여 각각 분할 심박주기의 재구성 영상들을 만든다(Fig. 1).

최종적으로 게이트 심근관류 SPECT는 x, y, z의 공간 정보와 시간 정보를 한꺼번에 보여주는 4차원적인 영상표시를 하게 되므로 역동적인 심근의 기능 정보를 제공 할 수 있다. 또한 영상의 재구성 전에 한 각도에서 얻은 여러 개의 심박 주기로 분할한

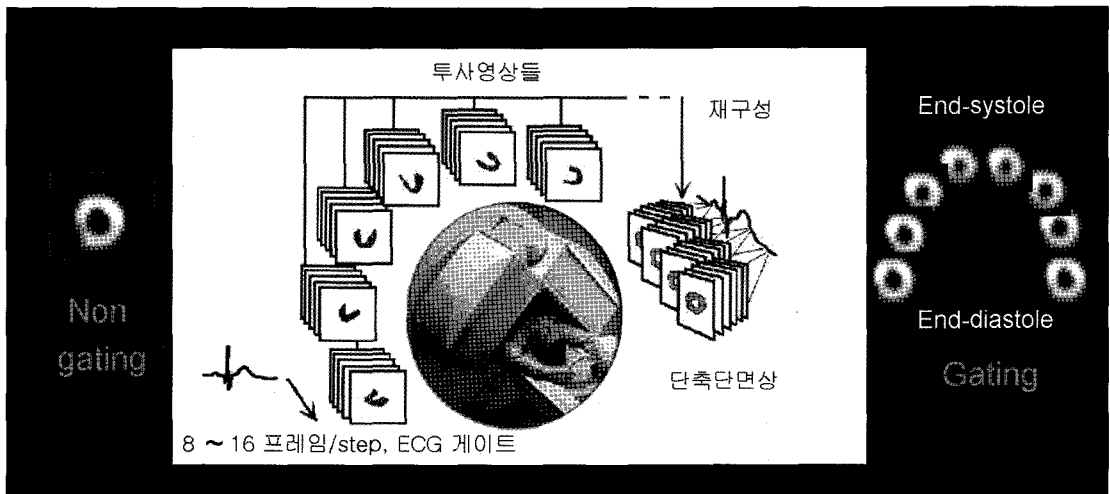


Fig. 1. Schematic representation of ECG-gated perfusion SPECT acquisition and processing.

단위영상을 모두 합산하면, 게이트를 시행하지 않은 관류 SPECT와 동일한 합산 게이트영상(summed gated SPECT)을 얻을 수 있다. 합산게이트 영상에서 일반적인 심근관류 SPECT 영상처럼 심근관류를 평가하게 되고, 게이트 영상을 이용해서 심근 기능을 평가 및 분석할 수 있다.⁷⁾

게이트 심근관류 SPECT 정량 알고리즘들

게이트 심근관류 SPECT 영상자료를 이용하여 전반적 및 국소적 좌심실 기능을 분석할 수 있는 여러 가지 알고리즘들이 개발되어 있으며, 현재도 더 정확한 자료를 구현 할 수 있는 알고리즘과 소프트웨어들이 개발되고 있다. 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 Gaussian fit 법을 중심으로 설명하고자 한다.

Gaussian fit 법^{8,9)}

Cedars-Sinai QGS 소프트웨어인 AutoQUANT™에서 이용하는 알고리즘으로, 영상분석은 단축면 영상자료를 합쳐서 구성한 3차원에서 진행되며, 전체적으로 자동화되어 있으나, 수동으로 조절이 가능하다. 가장먼저 3차원 좌심근 영상을 heuristic thresholding, binarization, clusterification 을 이용하여 심근을 분할하고(segmentation), pixel erosion과 growing을 이용하여 iterative cluster 을 더욱 세밀하게 한다. 위의 과정을 통하여 좌심근이 분리되면 좌심근의 무게중심(center of mass)부위를 자동으로 정하게 되고, 무게중심에서 spherical smapling 모델을 이용하여 방사하는 선(방사선)을 그린다. 하나의 방사선에서 가장 높은 계수값을 가진 위치를 연결하여 3차원의 좌심근 중심면(midmyocardial surface)을 이루도록 하고 이를 타원체 형태가 되도록 수정하고(fitting) 최종적으로는 최적의 타원형태를 구성해 낸다. 최적의 타원체에서 새로운 무게중심을 정하고 또한 새로운 방사선을 그리고, 각 방사선의 계수 분포를 다시 작성한다. 비대칭 Gaussian 곡선을 이용하여 계수 분포에 fitting을 시행하고, Gaussian 분포의 최대값 위치를 좌심근 중심면으로 정하고, Gaussian 분포의 표준편차를 이용하여 심내막과 심

외막 표면을 정한다. 이첨판면 (mitral valve plane)은 심근의 가장 기저부로 정한다. 심박 주기를 분할하여 얻은 모든 분할 단위영상 에서 좌심근 질량이 동일하게 나타난다는 원칙을 이용하여 심내막 및 심외막 표면을 더욱 정확하게 정하게 된다.

관류 결손이 있어 육안적 관독에서 심근의 방사능 섭취가 명확히 보이지 않더라도 심내막 및 심외막면은 정확하게 정할 수 있는데, 이는 Gaussian fitting이 분절화(segmented)되고 역치를 적용하지 않은 영상(non-thresholded image)에 적용되고, 또한 적용되는 알고리즘이 심근관류 영역의 3차원적 심근표면들(좌심근 중심면, 심외막면, 심내막면)의 자료를 이용하여 관류가 없어 보이는 위치의 심근 표면들이 연속성을 가지도록 외삽(extrapolation)하도록 고안되어 있기 때문이다.

심내막면과 심외막면과 이첨판면은 모든 분할 재구성 영상에 각각 정해진다. 좌심실 용적은 심내막면과 이첨판면으로 둘러싸인 부분 영역내의 voxel 개수에 voxel 용적을 곱하여 구하게 되는데, 분할 재구성 영상 중 가장 큰 값을 보인 것이 확장기말 좌심실 용적이 되며, 가장 작은 값을 보인 것이 수축기말 좌심실 용적이 된다. 좌심실 구혈률은 얻어진 확장기말 및 수축기말 용적을 이용하여 구할 수 있다. 좌심근 질량은 심외막면과 이첨판으로 둘러싸인 용적과 심내막면과 이첨판으로 둘러싸인 용적의 차에 좌심근의 비중(1.03g/ml)을 곱하여 얻을 수 있다.

AutoQUANT™는 이외에도 확장기말과 수축기말의 심내막면의 위치이동을 이용하여 국소적 심벽운동(regional wall motion)을 정량화 할 수 있으며, 심내막과 심외막의 거리를 이용한 기하학적인 자료를 이용하여 심근의 두꺼워짐(wall thickening)도 정량화 할 수 있다. 국소적 심벽운동과 심근의 두꺼워짐은 극성지도를 이용하여 표시하는데, 국소적 심벽운동의 경우 10mm를 움직인 경우 최고의 밝기와 100%로 표시하며, 이보다 움직임이 감소된 경우는 감소된 정도에 따라 상대적인 밝기로 표시한다. 심근의 두꺼워짐은 이완기말에 비해 수축기말에 좌심근의 두께가 2배로 된 경우 최고의 밝기와 100%로 표시하며, 이보다 두꺼워짐 감소된 경우는 감소된 정도에 따라 상대적인 밝기로 표시한다. Auto-

QUANT™는 정상인 심벽운동과 심근의 두꺼워짐 정도를 이용하여 구한 평균에서 일정 역치이상 감소된 경우 국소적 심벽운동과 심근의 두꺼워짐 장애가 발생된 것으로 판단하며, 그 장애정도도 정상인에서 구한 자료의 표준편차를 이용하여 나타내 준다. 또한 좌심실의 심벽 운동과 심근의 두꺼워짐을 하나의 값으로 표현해 줄 수 있는 정량법(summed motion score, summed thickening score)도 있다.

그 외 알고리즘들

St. Luke's Roosevelt 병원에서 이용하는 threshold 알고리즘^{10,11)}은 작업자가 수직 및 수평 장축영상을 정하여 분할 단위영상 중 심근중심경계(midmyocardial border)를 그린 후, 역치율(percent threshold)와 4차 Fourier fit을 통하여 심내막 경계(endocardial

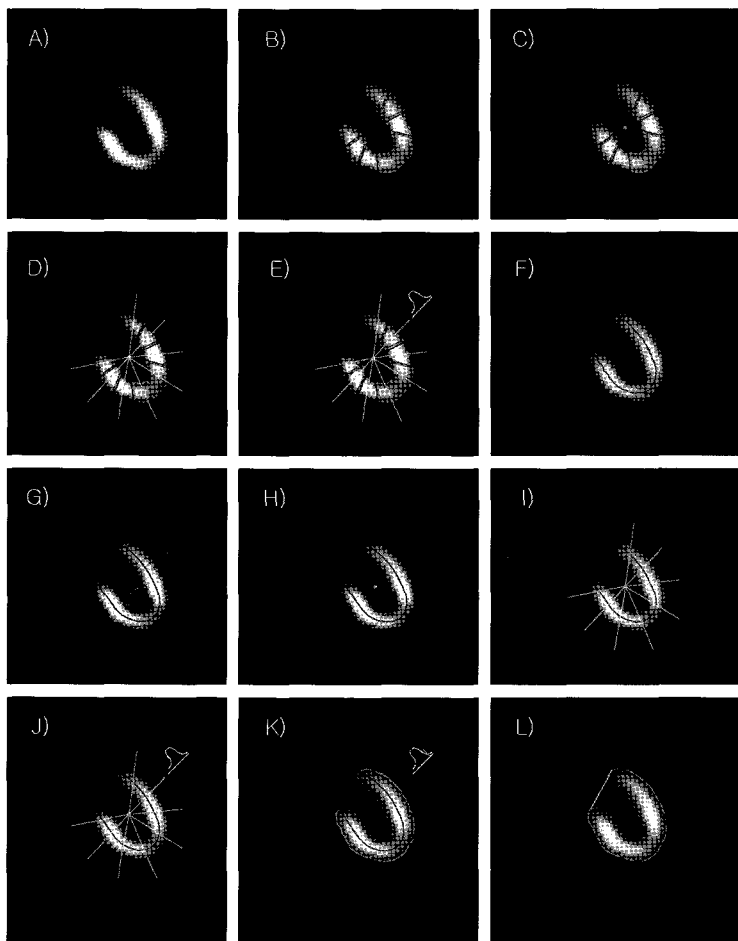


Fig. 2. Determination of endocardial, midmyocardial, epicardial surfaces using Gaussian fit algorithm. A) myocardial perfusion image. B) segmentation of LV myocardium. C) automatic determination of center of mass. D) drawing of rays from center of mass. E) count profile on all rays. F) first estimate of midmyocardial surface G) fit of midmyocardial surface to ellipsoid. H-I) drawing of new rays using new sampling coordinate system. J) count profiles on new rays. K) fitting of count profiles to asymmetric Gaussian curves. L) determination of endocardial/epicardial surfaces and mitral valve plane.

Table 1. Review of published quantitative algorithms for gated myocardial perfusion SPECT

Method	Gaussian fit	Threshold	Moment	Gradient	Partial volume	Image inversion
program	Cedars-Sinai	St. Luke's Hospital	Stanford University	(various)	(various)	University of Chicago
Operation	Automatic	Semi-automatic	Semi-automatic	Semi-automatic	Semi-automatic	Semi-automatic
Dimensionality(D)	3-D	2-D (biplanar)	3-D	3-D	2-D	2-D (summed biplanar)

border)를 구하게 된다. 심초음파에서 널리 이용되는 방법과 동일하게 수직 및 수평 장축영상의 심내막 경계를 이용하여 좌심실의 용적을 구한다. Threshold 법을 이용한 다른 알고리즘으로는 심근의 최대 계수치의 60%가 되는 부위를 연결하여 이완기말 좌심실 경계면을 구하고, 수축기말 좌심실 경계면은 좌심근 질량이 이완기말의 좌심실 질량의 5% 이하의 차이를 보이도록 하는 역치율로 정하는 방법이 있다.¹²⁾ 최근에는 이완기말 및 수축기말 동일 계수 부위를 정하는데 계수의 gradient를 이용함으로써 알고리즘을 더욱 정확하게 만드는 노력들이 시도되고 있다.¹³⁾

Stanford 병원에서는 moment를 이용한 알고리즘을 사용하는데, 단축영상에서 좌심근의 계수분포의 모멘트를 이용하여 좌심실의 용적을 구하게 개발되어 있다. 계수분포의 1차 moment는 좌심실 벽의 평균 위치를 구하는데 이용하고, 2차 moment는 좌심실 벽의 두께를 얻는데 이용한다.¹⁴⁾

Gradient 방법을 이용한 알고리즘에서는 model based relaxation labeling을 이용하여 3차원적으로 심내막면 및 심외막면을 정하게 되며,¹⁵⁾ partial volume을 이용한 알고리즘에서는 Hoffman 등이 발표¹⁶⁾한 partial volume 효과를 이용한 방법으로 기관이나 구조에서 얻은 평균계수는 그 구조의 방사능 뿐만이 아니라 구조물의 크기에도 비례한다는 원리를 이용한 것이다. 이 알고리즘에서는 수축기의 심근의 방사능 증가를 이용하여 심근의 두께증가를 추정하게 된다.

Chicago 대학에서는 image inversion 방법¹⁷⁾을 이용한 알고리즘을 이용하는데, 이는 심근 관류영상을

디지털로 역상을 만들어 심근이 높은 계수를 가지게 나타나고, 심벽이 낮은 계수를 나타내도록 영상을 바꾸게 한다. 그 후 derivative-threshold border detection 방법을 이용하여 심실의 경계를 정하는 방법으로 게이트 혈액풀 심장스캔에서 사용하는 방법과 유사하다.

이러한 여러 알고리즘의 정확성을 높이기 위한 연구들이 현재에서 계속되고 있으며, 또한 각 알고리즘의 장점을 모아서 더욱 발전된 알고리즘과 소프트웨어를 만드는 노력도 가속화 되고 있다.¹⁸⁾

게이트 심근관류 SPECT로 얻을 수 있는 지표들

1. 전반적인 좌심실 기능

게이트 심근관류 SPECT로 얻을 수 있는 있는 전반적인 좌심실 지표로는 좌심실 구혈률, 확장기말 좌심실 용적, 수축기말 좌심실 용적 및 좌심근 질량 등이 있다.⁸⁾ 좌심실의 이완기분석은 게이트 심근관류 SPECT로 구하기 어려운데 이는 게이트에 사용되는 프레임 수가 관련된다. 우심실의 기능평가는 일반적으로 잘 시행되지 않는데, 이는 우심실의 두께가 얇고, 계수가 낮아 항상 보이지 않을 수 있으며, 또한 우심실의 기하학적인 구조가 좌심실에 비하여 기하학적으로 모델링이 쉽지 않기 때문이다. 그러나 최근에는 게이트 심근관류 SPECT를 이용한 우심실 기능평가가 지속적으로 시도되고 있으며, 보고자에 따라 우심실 기능평가에 게이트 심근관류 SPECT가 게이트 혈액풀 스캔 대응으로 사용될 수 있다고 보고된 바¹⁹⁾도 있다.

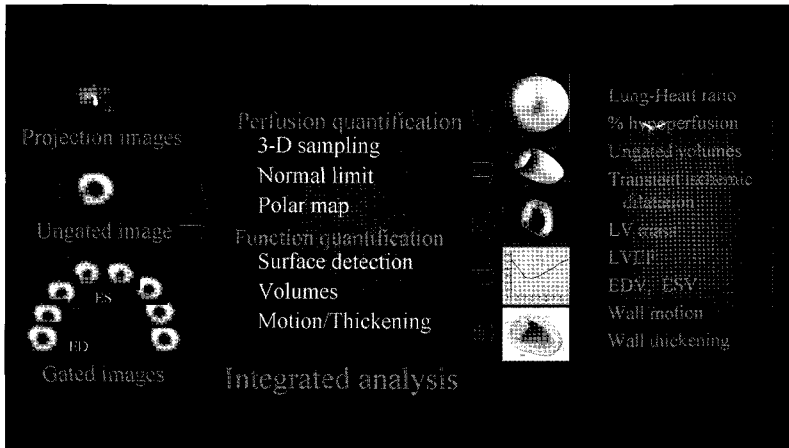


Fig. 3. Cardiac functional parameters that are derived from a gated myocardial perfusion SPECT. ES; end-systole, ED; end-diastole, LV; left ventricle, LVEF; LV ejection fraction, EDV; end-diastolic volume, ESV; end-systolic volume.

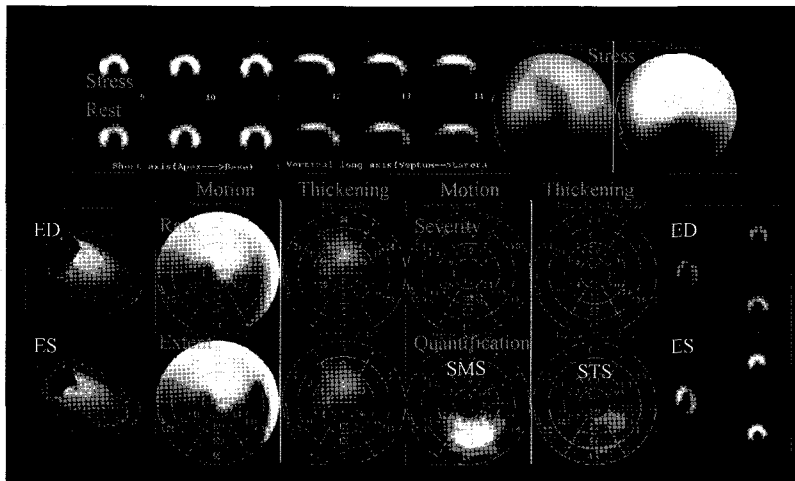


Fig. 4. Regional wall motion and wall thickening analysis using AutoQUANT™. ED; end-diastole, ES; end-systole, SMS; summed stress score, STS; summed thickening score. Stress and rest myocardial perfusion images show fixed perfusion defect in inferior left ventricular wall. Motion and thickening analyses show normal motion and thickening in anterior wall and decreased motion and thickening in inferior wall.

2. 국소적 좌심실 운동 및 심근의 두꺼워짐

좌심실의 운동은 게이트폴 혈액 스캔에서도 얻을 수 있는 자료이나, 심근의 두꺼워짐은 핵의학 검사 방법 중에서는 게이트 심근관류 SPECT에서만 얻을 수 있는 자료이다. 정상적인 심벽운동과 두꺼워짐을 보이는 경우는 허혈심근, 정상적으로 얇은 심첨부, 유방 혹은 횡경막으로 인한 감소 등이 있으며, 감소

된 심벽운동과 두꺼워짐은 심근경색 부위, 심한 허혈심근 부위나 심장수술 이후에 보일 수 있다. 좌심실 운동이 정상적인 경우 좌심실의 두꺼워짐도 정상적이며, 좌심실 운동이 감소된 경우 좌심벽 두꺼워짐이 감소되는 것이 일반적이며, 실제로 대부분에서 심벽의 운동과 두꺼워짐은 커플링(coupling)되어 일어난다.⁸⁾ 그러나 예외가 있을 수 있는데, 먼저 작은 부위에 심근경색이 발생된 경우 주위의 정상심

근의 운동에 의해 경색부위가 따라 정상적으로 움직이게 될 수 있다. 심근벽의 두꺼워짐은 발생되지 않는다.⁸⁾ 또 심장 수술 후에는 전형적으로 발생하는 경우로, 심중격벽의 두꺼워짐은 정상이다. 심중격벽의 이상운동이 보고 되어 있다.^{20,21)} 이는 심장수술 후에는 심낭내에서 심장이 느슨해져 (loosening) 수축기시 심장이 전방향으로 운동 (swing)하게 된다. 이로 인하여 심중격벽의 운동저하 및 측벽의 과운동 소견이 나타나게 된다.²²⁾

게이트 심근관류 SPECT를 이용한 좌심실 국소기능 평가시에는 적절한 기준 선택(appropriate reference system)뿐만 아니라 동시에 심장의 rotation과 translation에 주의하여야 한다.⁸⁾ 먼저 정상인을 대상으로 한 심초음파 및 심장 MRI 연구에서 국소적 심근운동 및 국소적 심근의 두꺼워짐이 매우 넓은 범위의 값을 가짐으로 인해, 국소적 심근운동 및 두꺼워짐의 정상범위를 정하는데 문제가 있다. 또한 수축기의 심근의 rotation에 의한 국소적 좌심실 운동평가에 대한 영향을 없애기 위한 3차원 정량 알고리즘이 고안되고 있으나,²³⁾ 게이트 심근관류 SPECT경우 영상의 분해능이 낮아 이를 해결하기 어려운 실정이다.⁸⁾

심근관류를 정량화하기 위해 summed stress score를 사용하는 것과 유사하게 좌심실을 20개의 분획으로 나누어 각각의 국소적 심벽운동을 점수화 하여 좌심실 전체의 운동성을 하나의 값으로 나타낸 summed motion score가 개발되어 있으며, 국소적 심벽의 두꺼워짐을 점수화 하여 좌심근 전체의 두꺼워짐을 하나의 값으로 나타낸 summed thickening score가 개발되어 있다.⁹⁾

게이트 심근관류 SPECT로 얻을 수 있는 지표들의 재현성 및 정확성

게이트 심근관류 SPECT의 분석 알고리즘에 따라 관찰자내(intra-observer) 혹은 관찰자간(inter-observer) 재현성 및 기존 검사법을 기준으로 한 정확성 검점이 광범위하게 이루어져 있으며, 현재도 이루어지고 있다. 검사결과와 재현성 연구에서 대부분의 알고리즘이 5% 이내의 차이를 보여 임상적으로 적

용하는데 적합한 재현성을 가지는 것으로 보고 되고 있다.^{8,24)} 그러나, 심초음파 검사, 심장 MRI 검사, 게이트 혈액풀 스캔 등을 기준으로 한 게이트 심근관류 SPECT의 정확성 검정에서는 보고자에 따라 다양하게 보고되고 있다.⁸⁾ 본 연구자도 심초음파와 정량 게이트 심근관류 SPECT를 이용하여 좌심근 질량을 측정하여, 두 검사법으로 얻은 좌심근 질량이 양의 상관성이 있으나 절대값에서는 유의한 차이가 있음을 발표하였다.²⁵⁾

게이트 법을 적용시 발생될 수 있는 문제점

게이트 심근관류 SPECT로 얻은 좌심실 구혈률과 용적은 좌심실의 용적이 매우 작은 경우, 광범위한 관류결손이 있는 경우에 정확성이 낮아지는 것으로 알려져 있다. 좌심실의 용적인 작은 경우는 심근의 방사능의 심실내로의 유출로 심실의 용적이 과소평가되고 좌심실 구혈률이 과잉평가되는 것으로 알려져 있다.²⁶⁾ 부하후 영상의 경우 일시적인 기절심근 (stress induced myocardial stunning)이 발생될 수 있어, 게이트 영상의 운동이 안정시 좌심실의 운동을 나타내지 못하는 경우도 있다. 또한 부정맥으로 심박 주기가 일정하지 않는 경우(예; 심방세동)나 심전도 이상으로 정확한 게이팅이 어려운 경우(예; T 파가 너무 큰 경우) 게이트법의 적용이 어려울 수 있으며, 게이트법을 시행하더라도 얻어진 정량적 지표의 정확성이 낮아지게 된다. 심실내 동맥류가 있는 경우 역시 정확한 좌심실 기능을 나타내지 못할 수 있으므로 임상적용시 주의가 필요하다.^{27,28)}

심박 주기를 나누는 프레임 수나 재구성시 이용된 필터의 종류, 좌심근의 방사능 계수 정도에 따라서도 기능지표의 값이 달라질 수 있다. 특히 7번과 8번 프레임의 심근방사능 계수가 낮아져 발생하는 flashing 현상은 좌심실 기능지표의 정확성에 큰 영향을 미칠 수 있으며 임상적 판단에도 악영향을 미칠 수 있어, flashing 현상이 예상되는 경우 게이트법을 적용을 하지 않는 것이 더 적절할 수 있다.²⁸⁾ 또한 심내막의 위치를 정하는 알고리즘과 사용된 분석 소프트웨어에 따라 정량적 지표는 상이한 값을 보이게 됨으로, 한 환자에서 추적관찰시 다른 분석 소프트웨어로 얻은

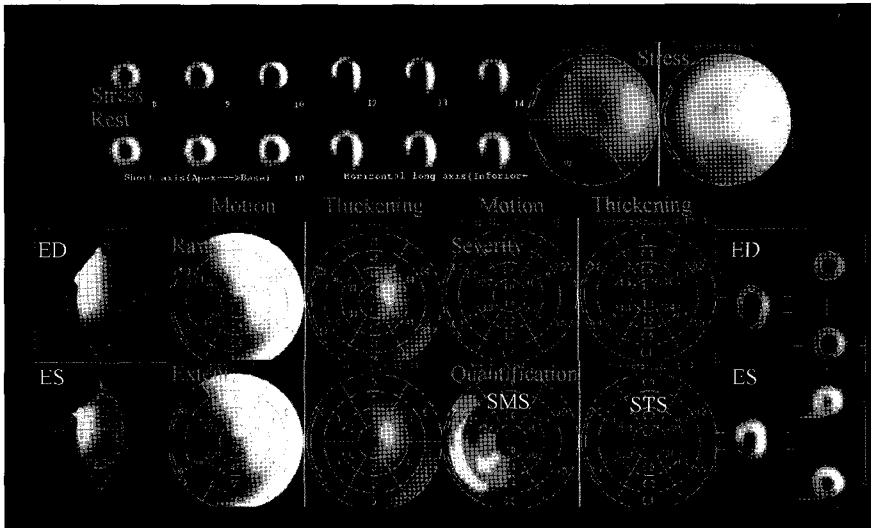


Fig. 5. Characteristic pattern on gated myocardial perfusion SPECT in post-CABG patient showing apparent septal hypokinesia with normal septal wall thickening.

자료를 직접적으로 비교하는 것은 심각한 오류를 가져올 수 있으므로 불가능하다.²⁹⁾

정량 게이트 심근관류 SPECT의 응용법

심초음파 검사에서 inotropic agent인 dobutamine 을 저용량으로 투여하면서 좌심실의 운동성 증가로 심근의 생존능을 검사하는 방법을 준용하여, dobutamine 투여 중 얻은 게이트 SPECT 영상에서 기저영상보다 심근의 운동 및 두꺼워짐의 증가를 이용하여 생존심근 판별에 이용하는 연구가 시행되고 있다.³⁰⁻³²⁾

부하후 게이트 심근관류 SPECT는 부하시의 심근 관류 상태와 안정시의 심근 운동을 나타내므로 안정시의 심근관류 SPECT를 얻지 않고도 정상 심근 관류, 심근 허혈, 심근 경색을 구별하는 연구도 시행되고 있다. 정상심근의 경우 관류결손이 없으며 심벽운동과 두꺼워짐이 정상을 보이며, 허혈 심근의 경우는 관류영상에서는 결손이 발견되나 거의 정상 수준 혹은 정상의 심벽운동 및 두꺼워짐을 보이며, 경색부위는 관류결손과 심벽운동과 두꺼워짐의 장애가 동반된다. 이러한 검사법의 도입은 한번의 방사성의약품 투여와 한번의 영상으로 허혈성 심질환

평가가 가능하게 해줌으로, 허혈성 심질환과 관련된 의료비용을 획기적으로 줄이는데 도움을 줄 것으로 생각된다. 그러나 허혈 심근이 부하로 인해 기절(stunning)이 발생할 경우 경색으로 판독될 수 있으며, 감쇠부위가 허혈로 판독 될 수 있으며, 심내막 경색(subendocardial infarction)의 경우 관류 감소가 있으나 정상적인 운동과 두꺼워짐으로 인해 허혈로 판정될 소지가 있다.³³⁾

표준 심근관류 SPECT에 게이트 법을 적용하여 얻을 수 있는 장점들

먼저 심근관류 SPECT에서 얻을 수 있는 있는 심근관류 정보 외에 좌심실에 대한 기능상태를 나타내는 좌심실 구혈률, 이완기말 및 수축기말 좌심실 용적, 및 좌심근 질량에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이러한 좌심실 기능지표들은 허혈성 심질환을 포함한 다양한 심장질환의 진단을 더욱 정확하게 해주며, 예후를 예측하는데 도움이 되며, 환자의 치료 효과 판정에도 이용될 수 있으며, 또한 수술후 심장사건의 예측에도 사용 될 수 있다.³⁵⁾ 본 교실에서는 심근관류 SPECT의 판독에서 관류결손이 발견되지 않아 정상으로 판독된 환자에서 부하 후 좌심근벽

의 국소적 운동저하가 발생하거나 좌심실 구혈률이 비정상적으로 감소하는 경우, 허혈성 심질환을 의심할 수 있음을 발표한 적이 있다.³⁶⁾

또한 국소적 심근기능 평가를 이용하여 관류에 이상이 없는 심근증을 평가할 수 있으며, 심근 섭취 감소 원인인 심근경색과 감쇠를 구분하게 해주며, 심근의 생존능을 평가하는데도 도움이 된다. 동면심근이 있을 수 있으므로, 심근의 운동이 낮아져 있어도 생존능이 없다고 단정할 수 없으며, 관류가 감소되어 있더라도 심근의 운동과 두꺼워짐이 유지되는 경우 생존심근이라고 생각되고 있다.³⁴⁻³⁶⁾

미국 및 한국에서의 게이트 심근관류 SPECT 현황

1998년 7월에 미국 심장핵의학회에서 주관하여 열린 4차 초청 wintergreen conference에서는 관류영

상 합산시 오류가 발생되지 않는 경우라면 모든 Tc-99m 표지 방사성의약품을 이용한 심근관류 SPECT 영상 획득시 게이트법을 적용할 것을 권장하였으며, Tl-201을 이용한 심근관류 SPECT도 심근 계수가 충분하다면 게이트법의 적용이 유망하다는 의견을 제시하였다.⁷⁾ 이러한 이유로 게이트 심근관류 SPECT의 검사가 획기적으로 증가되어 1999년 TMG panel에 나온 자료에서도 전체 심근관류 4백만건 중 250만건이 게이트법으로 영상획득이 되어 62.5%를 차지하였으며, 그 후에도 지속적으로 게이트법의 적용범위가 넓어지는 것으로 알려져 있다.

본 저자는 2003년 5월에 한국에서 심근관류 SPECT시 게이트법의 적용 실태를 알아보고자 하였다. 먼저 핵의학 분야에 비교적 활발한 활동을 할 것으로 생각되는 시설을 선택하기 위해 한국 핵의학 40년사에 기술된 병원을 골라 전화통화로 게이트 심근관류 SPECT 시행 여부에 관한 설문조사를 시도하였다. 53개 병원이 설문조사에 응하였으며, 결과는 다음과 같았다. 8개의 병원(15.1%)은 심근관류 SPECT를 시행하지 않았으며, 20개의 시설(37.7%)은 심근관류 SPECT는 시행하나 게이트법을 적용하지 않았고, 25개 병원(47.2%)은 게이트 심근관류 SPECT를 시행하는 것으로 나타나, 심근관류 SPECT를 시행하는 병원에서 게이트법을 적용하는 경우는 47.2%였다. 이 통계자료는 한국에서 비교적 핵의학검사 실적이 좋은 병원을 대상으로 한 결과이므로 전체 병원을 대상으로 할 경우 그 빈도는 더 낮게 파악될 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 앞에서 언급한 게이트법으로 얻을 수 있는 많은 심장 기능 지표를 임상에 적용하는 시설의 빈도는 더 낮을 것으로 추정된다.

글을 마치면서

새로운 심근관류용 방사성의약품이 개발되고 있으며, SPECT 장비도 지속적으로 개선되고 있어 그 해상도가 높아지고 있다. 심근관류영상 자료의 질이 높아짐과 동시에 게이트 영상의 분석 알고리즘 및 소프트웨어가 더욱 정교해지고 있어, 심실기능 지표의 정확성이 지속적으로 개선되고 있으며, 우심실

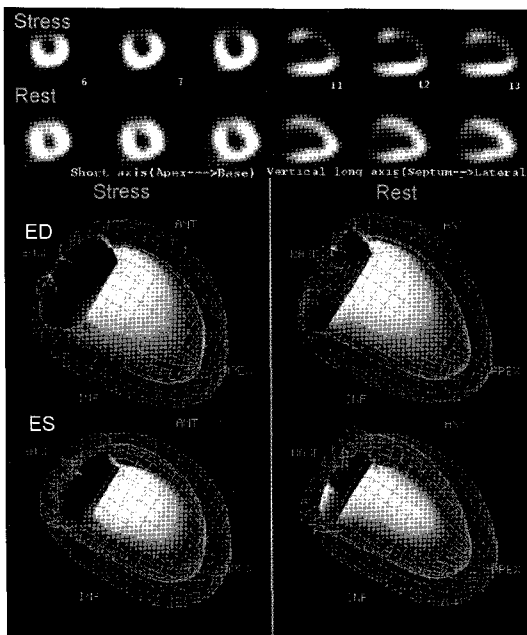


Fig. 6. Post-stress myocardial stunning at anterior wall of left ventricle. ED; end-diastole, ES; end-systole. Short and vertical long axes images show reversible perfusion decrease in anterior left ventricular wall. Transient anterior hypokinesia is seen on endocardial surface image at end-systole.

기능평가 및 좌심실 이완기 평가에도 시도되고 있다.^{19,37-39)}

이러한 게이트 심근관류 SPECT 검사결과는 심근의 관류상태와 더불어 심근의 기능 상태에 관한 여러 지표들을 제공할 수 있어 허혈성 심질환의 평가에 중요한 검사법으로 자리 매김할 것으로 예상된다. 그 외에도 환자의 체형이나 동반된 폐질환으로 인하여 심장초음파검사가 불가능한 경우 게이트 심근관류 SPECT가 손쉬우며 정확하여 가장먼저 시도되는 2차적인 좌심실기능 평가법으로도 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

심장질환 및 고혈압을 비롯한 심장에 영향을 줄 수 있는 여러질환에서 심근관류 SPECT를 시행하는 경우 게이트법을 적용함으로써 심질환의 진단성능을 높이고 예후 및 치료 효과 판정에 관한 유용성을 높여, 이를 임상가에게 적절히 제공함으로써 심장핵의학의 인식향상에 게이트법이 큰 공헌을 할 수 있을 것이다. 이러한 심장핵의학의 발전은 임상핵의학의 보편화와 임상가의 의식 개선에도 기여할 수 있으므로 심장핵의학회 뿐만아니라 대한핵의학회 차원의 노력도 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Bavelaar-Croon CL, Atsma DE, Vander Wall EE, Diffets-Schneider P, Zwinderman AH, Pauwels EK. The additive value of gated SPET myocardial perfusion imagings in patients with known and suspected coronary artery disease. Nucl Med Commun 2001;22:45-55.
- 2) Acampa W, Cuocolo A, Sullo P, Varrone A, Nicolai E, Pace L, et al. Direct comparison of technetium 99m-tetrofosmin cardiac single photon emission computed tomography in patients with coronary artery disease. J Nucl Cardiol 1998;5:265-74.
- 3) Germano G, Kiat H, Kavannagh PB, Moriel M, Massanti M, Su HT, et al. Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. J Nucl Med 1995;36:2138-47.
- 4) Germano G, Kavannagh PB, Berman DS. An automatic approach to the analysis, quantitation and review of perfusion and function from myocardial perfusion SPECT images. Int J Card Imaging 1997;13:337-46.
- 5) Thorley PJ, Ball J, Sheard KL, Silvananthan UM. Evaluation of Tc-99m-tetrofosmin as a myocardial perfusion agent in routine clinical use. Nucl Med Commun 1995;16:733-40.
- 6) Al-Kaylani H, Britton KE, Beslic N, Canizales A. Can the estimation of ejection fraction during gated single photon emission computed tomography at rest add information to the cardiac perfusion study? Nucl Med Commun 2002;23:899-906.
- 7) Beller GA, Zaret BL. Wintergreen panel summaries. J Nucl Cardiol 1999;6:93-155.
- 8) Germano G, Berman DS. Quantitative gated perfusion SPECT. In: Germano G, Berman DS, editors. Clinical gated cardiac SPECT. New York: Futura Publishing Co; 1999. p115-46.
- 9) AutoQUANT™ user's manual. A manual for using AutoQUANT to review, analyze, and quantify myocardial perfusion SPECT images. CA: ADAC Laboratories; 2000. 08-2000 9201-0255D- ENG, REA A.
- 10) Nicolas K, DePuey EG, Rozanski A. Automation of gated tomographic left ventricular ejection fraction. J Nucl Cardiol 1996;3:475-82.
- 11) DePuey EG, Nicolas K, Dobrinsky C. Left ventricular ejection fraction assessed from gated technetium-99m-sestamibi SPECT. J Nucl Med 1993;34:1871-6.
- 12) Yang KT, Chen HD. A semi-automated method for edge detection in the evaluation of left ventricular function using ECG-gated single-photon emission tomography. Eur J Nucl Med 1994;21:1206-11.
- 13) Yang KT, Chen HD. Evaluation of global and regional left ventricular function using technetium-99m sestamibi ECG-gated single-photon emission tomography. Eur J Nucl Med 1998;25:515-21.
- 14) Everaert H, Franken PR, Flamen P, Goris M, Momen A, Bossuyt A. left ventricular ejection

- fraction from gated SPECT myocardial perfusion studies: a method based on the radial distribution of count rate density across the myocardial wall. *Eur J Nucl Med* 1996;23:1628-33.
- 15) Faber TL, Akers MS, Peshock RM, Corbett JR. Three-dimensional motion and perfusion quantification in gated single-photon emission computed tomograms. *J Nucl Med* 1991;32:2311-7.
 - 16) Hoffman EJ, Huang SC, Phelps ME. Quantitation in positron emission computed tomography. I. Effect of object size. *J Comput Assist Tomogr* 1979;3:299-308.
 - 17) Williams KA, Taillon LA. Left ventricular function in patients with coronary artery disease assessed by gated tomographic myocardial perfusion images: comparison with assessment by contrast ventriculography and first-pass radionuclide angiography. *J Am Coll Cardiol* 1996;27:173-81.
 - 18) Daou D, Pointurier I, Coaguila C, Vilain D, Benada AW, Lebtahi R, et al. Performance of OSEM and depth-dependent resolution recovery algorithms for the evaluation of global left ventricular function in ^{201}Tl gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 2003;44:155-62.
 - 19) Wadhwa SS, Caralon M, Abbati D. Functional assessment of the right ventricle with gated myocardial perfusion SPECT. *Clin Nucl Med* 2002;27:871-6.
 - 20) De Nardo D, Caretta Q, Mercanti C, Alessandri N, Scibilia G, Chiavarelli R, et al. Effects of uncomplicated coronary artery bypass graft surgery on global and regional left ventricular function at rest: study by equilibrium radionuclide angiocardiography. *Cardiology* 1989;76:285-92.
 - 21) Yun JH, Block M, Botvinick EH. Unique contraction pattern in patients after coronary bypass graft surgery by gated SPECT myocardial perfusion imaging. *Clin Nucl Med* 2003;28:18-24.
 - 22) Aronson S, Lee BK, Wiencek JG, Feinstein SB, Roizen MF, Karp RB, et al. Assessment of myocardial perfusion during CABG surgery with two-dimensional transesophageal contrast echocardiography. *Anesthesiology* 1991;75:433-40.
 - 23) Perman WH, Creswell LL, Wyers SG, Moulton MJ, Pasque MK. Hybrid DANTE and phase-contrast imaging technique for measurement of three-dimensional myocardial wall motion. *J Magn Reson Imaging* 1995;5:101-6.
 - 24) Ahn BC, Bae SK, Lee SW, Jeong SY, Lee J, Lee KB. Effects of perfusion defect on the measurement of left ventricular mass, ventricular volume and post-stress left ventricular ejection fraction in gated myocardial perfusion SPECT. *Korean J Nucl Med* 2002;36:381-91.
 - 25) Bae SK, Ahn BC, Lee SW, Jeong SY, Yang DH, Park HS, et al. Left ventricular mass measurement using Tc-99m MIBI myocardial perfusion SPECT: comparison with echocardiographic method. *Korean Circulation J* 2002;32:1072-7.
 - 26) Yoshioka J, Hasegawa S, Yamaguchi H, Tokita N, Paul AK, Xiuli M, et al. Left ventricular volumes and ejection fraction calculated from quantitative electrocardiographic-gated Tc-99m tetrofosmin myocardial SPECT. *J Nucl Med* 1999;40:1693-8.
 - 27) DePuey EG. Artifact clarified by and caused by gated myocardial perfusion SPECT. In: Germano G, Berman DS, editors. *Clinical gated cardiac SPECT*. New York: Futura Publishing Co; 1999. p183-237.
 - 28) Nichols K, Yao SS, Kamran M, Faber TL, Cooke CD, DePuey EG. Clinical impact of arrhythmias on gated SPECT cardiac myocardial perfusion and function assessment. *J Nucl Cardiol* 2001;81:19-30.
 - 29) Lum DP, Coel MN. Comparison of automatic quantification software for the measurement of ventricular volume and ejection fraction in gated myocardial perfusion SPECT. *Nucl Med Commun* 2003;24:259-66.
 - 30) Kasama S, Toyama T, Kumakura H, Takayama Y, Ichikawa S, Suzuki T, et al. Low-dose dobutamine stress $^{99\text{m}}\text{Tc}$ tetrofosmin quantitative gated SPECT performed during the acute phase of myocardial infarction predicts subsequent myocardial viability and detects stunned myocardium. *Nucl Med*

- Commun 2003;24:167-74.
- 31) Spinelli L, Petretta M, Acampa W, He W, Petretta A, Bonaduce D, et al. Prognostic value of combined assessment of regional left ventricular function and myocardial perfusion by dobutamine and rest gated SPECT in patients with uncomplicated acute myocardial infarction. *J Nucl Med* 2003;44:1023-9.
- 32) Matsunari I, Taki J, Nakajima K, Tonami N, Hisada K. Myocardial viability assessment using nuclear imaging. *Ann Nucl Med* 2003;17:169-79.
- 34) Santana CA, Garcia EV, Vansant JP, Krawczynska EG, Folks RD, Cooke CD, et al. Gated stress-only ^{99m}Tc myocardial perfusion SPECT imaging accurately assesses coronary artery disease. *Nucl Med Commun* 2003;24:241-9.
- 35) Hachamivitch R. Clinical value of combined perfusion and function imaging in the diagnosis, prognosis, and management of patients with suspected or known coronary artery disease. In: Germano G, Berman DS, editors. *Clinical gated cardiac SPECT*. New York: Futura Publishing Co; 1999. p239-58.
- 36) Ahn BC, Jeong SY, Lee J, Lee KB. Results of exercise ECG test, perfusion SPECT, and coronary angiography in patients with exercise induced myocardial stunning. *Korean J Nucl Med* 2002;36:26P.
- 37) Aepfelbacher FC, Yeon SB, Ho KK, Parker JA, Danias PG. ECG-gated ^{99m}Tc single-photon emission CT for assessment of right ventricular structure and function: is the information provided similar to echocardiography? *Chest* 2003;124:227-32.
- 38) Higuchi T, Nakajima K, Taki J, Kinuya S, Bunko H, Tonami N. Assessment of left ventricular systolic and diastolic function based on the edge detection method with myocardial ECG-gated SPET. *Eur J Nucl Med* 2001;28:1512-6.
- 39) Kikkawa M, Nakamura T, Sakamoto K, Sugihara H, Azuma A, Sawada T, et al. Assessment of left ventricular diastolic function from quantitative electrocardiographic-gated ^{99m}Tc -tetrofosmin myocardial SPET. *Eur J Nucl Med* 2001;28:593-601.
-