

심실내 전도장애 환자에서의 ^{99m}Tc -RBC Gated Blood-Pool Scintigraphy을 통한 Phase Image Analysis

충남대학교 의과대학 내과학교실

곽병수 · 최시완 · 강승식 · 박기남
이강욱 · 전은석 · 박종훈

= Abstract =

Phase Image Analysis in Conduction Disturbance Patients

Byeng Su Kwak, M.D., Si Wan Choi, M.D., Seung Sik Kang, M.D, Ki Nam Park, M.D.,
Kang Wook Lee, M.D., Eun Seok Jeon, M.D. and Chong Hun Park, M.D.

*Department of Internal Medicine, College of Medicine, Chungnam National University Hospital
Daejeon, Korea*

It is known that the normal His-Purkinje system provides for nearly synchronous activation of right (RV) and left (LV) ventricles. When His-Purkinje conduction is abnormal, the resulting sequence of ventricular contraction must be correspondingly abnormal. These abnormal mechanical consequences were difficult to demonstrate because of the complexity and the rapidity of it's events. To determine the relationship of the phase changes and the abnormalities of ventricular conduction, we performed phase image analysis of ^{99m}Tc -RBC gated blood pool scintigrams in patients with intraventricular conduction disturbances (24 complete left bundle branch block (C-LBBB), 15 complete right bundle branch block (C-RBBB), 13 Wolff-Parkinson-White syndrome (WPW), 10 controls).

The results were as follows;

- 1) The ejection fraction (EF), peak ejection rate (PER), and peak filling rate (PFR) of LV in gated blood pool scintigraphy (GBPS) were significantly lower in patients with C-LBBB than in controls ($44.4 \pm 13.9\%$ vs $69.9 \pm 4.2\%$, 2.48 ± 0.98 vs 3.51 ± 0.62 , 1.76 ± 0.71 vs 3.38 ± 0.92 , respectively, $p < 0.05$).
- 2) In the phase angle analysis of LV, Standard deviation (SD), width of half maximum of phase angle (FWHM), and range of phase angle were significantly increased in patients with C-LBBB than in controls (20.6 ± 18.1 vs 8.6 ± 1.8 , 22.5 ± 9.2 vs 16.0 ± 3.9 , 95.7 ± 31.7 vs 51.3 ± 5.4 , respectively, $p < 0.05$).
- 3) There was no significant difference in EF, PER, PFR between patients with the Wolff-Parkinson-White syndrome and controls.
- 4) Standard deviation and range of phase angle were significantly higher in patients with WPW syndrome than in controls (10.6 ± 2.6 vs 8.6 ± 1.8 , $p < 0.05$, 69.8 ± 11.7 vs 51.3 ± 5.4 , $p < 0.001$, respectively), however, there was no difference between the two groups in full width of half maximum.
- 5) Phase image analysis revealed relatively uniform phase across the both ventricles in patients with normal conduction, but markedly delayed phase in the left ventricle of patients with LBBB.
- 6) In 13 cases of WPW syndrome, the site of preexcitation could be localized in 10 cases (77%) by phase image analysis. Therefore, it can be concluded that phase image analysis can provide an accurate noninvasive method to detect the mechanical consequences of a wide variety of abnormal

electrical activation in ventricles.

Key Words: ^{99m}Tc-RBC gated blood pool scintigrams · Phase image analysis · Intraventricular conduction disturbance

서 론

정상적인 His-Purkinje 시스템은 좌심실과 우심실을 거의 동시에 전기적으로 활성화시켜 심장수축을 유발한다¹⁾. 이러한 His-Purkinje 시스템이 비정상적일 때 좌심실과 우심실의 활성화의 동시성을 상실하여 심장수축이 비정상적으로 이루어진다²⁻⁴⁾. 그러나 이러한 기계적인 심실간의 이상 수축은 심장의 빠른 수축으로 인하여 증명하기가 쉽지 않다.

방사성동위원소 심장풀스캔(radionuclide gated blood pool scan, 이하 GBPS로 약함)은 심전도를 심장수축과 이완의 지표로 사용하여 한 심박주기내 일정기간 동안의 심장내 방사능 영상을 모아서 심박주기동안 심장내 혈액량의 변화를 동적 영상화하는 비관혈적인 검사방법으로 여러가지 다양한 기능적 영상(functional image)을 재구성하여 관찰할 수 있다. 특히 위상영상(phase image)은 동시에 수축하는 frame을 같은 color coding을 통하여 선명하고 알기 쉬운 기능적 영상을 얻은 것으로 비정상적인 심실수축을 정량화 할 수 있는 방법으로 최근 여러 질환에서 유용하게 사용된다⁵⁻⁸⁾.

이에 저자들은 방사성동위원소 심장풀스캔을 이용하여 정상대조군과 심전도상 전도장애를 보인 환자를 대상으로 위상영상을 통하여 심장의 활성화 과정을 알아보고, 위상각 히스토그램(histogram of phase angle)을 분석 비교하였다.

대상 및 방법

1. 대 상

대상환자는 1991년부터 1993년 8월까지 충남대학교 병원에 내원한 외래 환자 및 입원환자를 대상으로 심전도상 전도장애를 보인 환자 48명(좌각블록환자: 20명, 우각블록환자: 15명, WPW 증후군환자: 13명)과 심장질환의 병력이 없고 심전도장애가 없는 정상대조군 10명을 대상으로 GBPS를 이용하여 좌심실 구혈률(ejection fraction), 위상각(phase angle), 위상각의 표준편차

(standard deviation of phase angle), 전체 반값폭(full width of half maximum), 위상각의 범위(range of phase angle)를 측정하였다.

정상대조군은 심전도상 정상 심전도를 보이며 흉부 방사선소견상 정상소견과 GBPS상 심박출계수(EF)가 54%이상이고 국소벽 운동의 이상이 없는 예로 하였다. 우각블록환자는 심전도상 lead I, V₅, V₆에서 S파와, QRS간격이 0.12 sec 이상이고, V₁, V₂에서 rR' pattern을, 좌각블록 환자에서는 I, aV_L, V₅, V₆에서 Q파, S파가 없으면서 QRS간격이 0.12 sec 이상이고, V₅, V₆에서 RR'complex가 없는 환자를 대상으로 하였으며, WPW 증후군환자는 delta파가 있고 PR간격이 0.12 sec 이하이며 QRS간격이 0.12 sec 이상인 환자로 하였으며 전예에서 GBPS 동안 정상 동조율이었고 부정맥이 있는 예는 대상에서 제외하였다.

2. 방 법

1) 방사성동위원소 심장풀스캔(GBPS)

환자에서 ^{99m}Tc-RBC 20 mCi를 정맥주사하고 20분뒤 동위원소가 혈액 내에 분포하여 평형상태에 도달한 후 감마카메라(Picker)로 좌심실과 우심실이 가장 잘 구분되는 좌전사위에서 스캔을 시행하였다. 스캔과 동시에 심전도를 연결하여 1회 심박주기를 32 화면으로 나누어 600회의 심박주기를 축적하여 PCS Plus II computer에 저장하였다. 스캔을 시행하는 동안에 환자의 심박수가 변하는 경우를 위하여 심박동수의 10%를 식별영역으로 두었다.

2) 분석

(1) 좌심실기능지표(left ventricular functional indices)

GBPS의 분석은 128×128 matrix를 가진 화면에 나타내어 상기한 computer program을 이용하여 좌심실의 시간-방사능 곡선을 구하였고 이를 이용하여 좌심기능의 지표인 1) 좌심실 구혈률(ejection fraction), 2) 최대박출률(peak ejection rate), 3) 최대 충만률(peak filling rate)를 계산하였다.

(2) 위상각 히스토그램(histogram of phase angle)

심장플스캔상의 각각의 pixel당 시간-방사능 곡선을 Fourier-harmonic 곡선을 통하여 phase을 계산하여 각 pixel당 심주기에 따른 위상각을 구하고 이들의 분포를 히스토그램으로 나타내었다. 이를 이용하여 1) 위상각의 평균(mean of phase angle, MPA), 2) 위상각의 표준편차(standard deviation of phase angle, SDPA), 3) 전체 위상각 반값의 폭(full width of half maximum, FWHM), 4) 전체 위상각의 범위(range of phase angle, RPA)을 구하여 각각 비교 분석하였다 (Fig. 1).

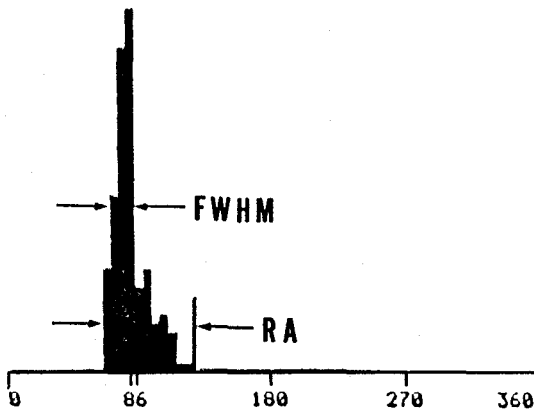


Fig. 1. Histogram of phase angle (FWHM: full width of half maximum, RA: range of phase angle).

(3) 위상영상(phase image)

위상각에 통상적인 방법으로 color coding을 하여 위상영상(phase image)을 연속적인 영화화면(cine display)으로 관찰하여 심실내 전도장애 및 WPW 증후군 환자에서 양심실의 활성화 과정을 정상대조군과 비교하였다.

(4) 통계처리

자료는 평균치±표준편차로 하였으며, 각 군에 분포된 환자 수와 평균치 간의 차이는 student's t-test를 이용하여 p값을 구하였고 p<0.05인 경우를 의의가 있다고 판정하였다.

결 과

1. GBPS 및 좌심기능

정상 심전도를 보인 대조군에 비해 좌각블록환자에서 수축기능 지표인 심장구혈률(EF)과 최대수축률(PER)은 감소하였다(44.4±13.9% vs 69.9±4.2, 2.48±0.98 vs 3.51±0.62, p<0.05 by t-test respectively, Table 2). 좌심실 이완기능의 지표인 최대충만률 역시 좌각블록환자에서 의미 있게 감소하였다(1.76±0.71 vs 3.38±0.92, p<0.05).

WPW증후군환자와 우각블록환자에서 GBPS에서 구한 심실기능지표들은 정상대조군과 차이가 없었다 (Table 2)

Table 1. Age and Sex Distributions of Patients and Normal Controls

	Groups			
	Control	LBBB	RBBB	WPW
Number	10	20	15	13
Age (year)	48±12	59±11	53±17	39±14
Sex (M/F)	6/4	7/13	9/6	11/2

Table 2. Left Ventricular functional Indices of ^{99m}Tc-RBC Gated Blood-Pool Scintigraphy

	Control	LBBB	RBBB	WPW Syndrome
LVEF (%)	69.9± 4.2	44.4±13.9**	65.8± 8.7	64.3±10.0
PER	3.51±0.62	2.48±0.98*	3.50±0.82	3.51±0.76
PFR	3.38±0.92	1.76±0.71**	2.92±0.78	3.36±1.09

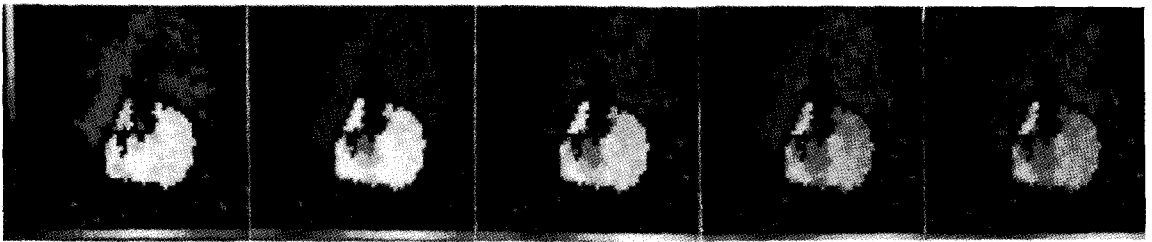
*p<0.05 compared with control, **p<0.001 compared with control EF: Ejection fraction, PER: Peak ejection rate, PFR: Peak filling rate.

Table 3. Results of Histogram of LV Phase Angle in ^{99m}Tc -RBC Gated Blood-Pool Scintigraphy

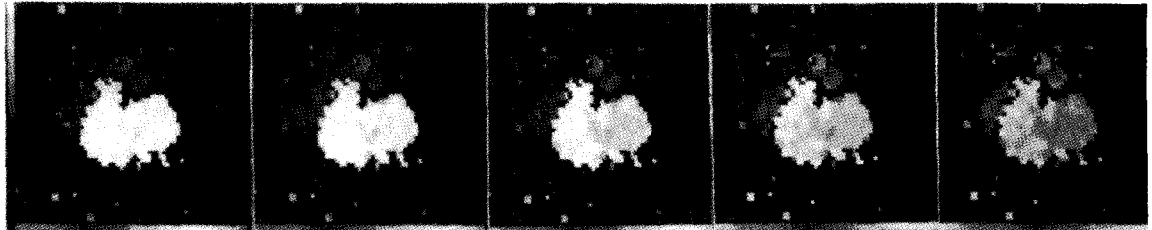
	LVAPA	SD	FWHM	RA
Control	107.9±9.8	8.6±1.8	16.0±3.9	51.3±5.4
LBBB	79.5±18.7**	20.6±18.1*	22.5±9.2*	95.7±31.7**
RBBB	90.6±17.6*	9.5±4.3	14.7±2.8	56.9±14.9
WPW	96.4±25.4	10.6±2.6*	20.0±6.2	69.8±11.7**

*p<0.05 compared with control, **p<0.001 compared with control, EF: Ejection fraction, LVAPA: Left ventricular average phase angle, SD: Standard deviation of phase angle, FWHM: Full width of half maximum, RA: Range of phase angle.

Normal conduction



RBBB



LBBB

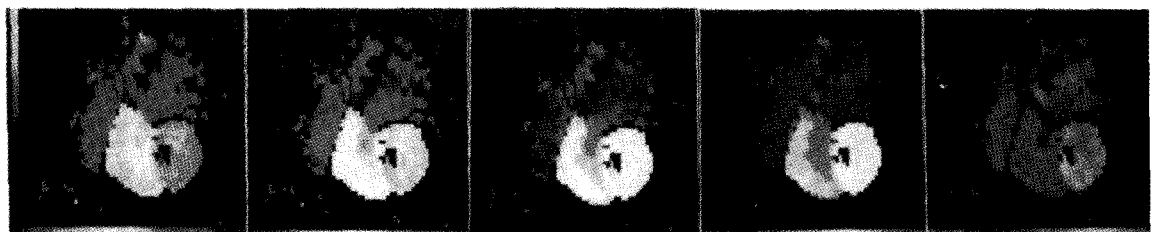


Fig. 2. Phase image in patient with normal and abnormal conduction (RBBB: right bundle branch block, LBBB: left bundle branch block).

2. 위상각 히스토그램 (Histogram of phase angle)

좌각블록환자에서는 대조군에 비해 좌심실 수축의 동시성을 반영하는 위상영상 히스토그램(histogram of

phase angle)상의 지표에서 위상각의 표준편차, 전체 위상각 반값의 폭은 의미있게 증가되었다(20.6±18.1 vs 8.6±1.8, 22.5±9.2 vs 16.0±3.9, p<0.05, Table 3). 전체 위상각의 범위 역시 좌각블록환자에서

Type A WPW syndrome



Type B WPW syndrome

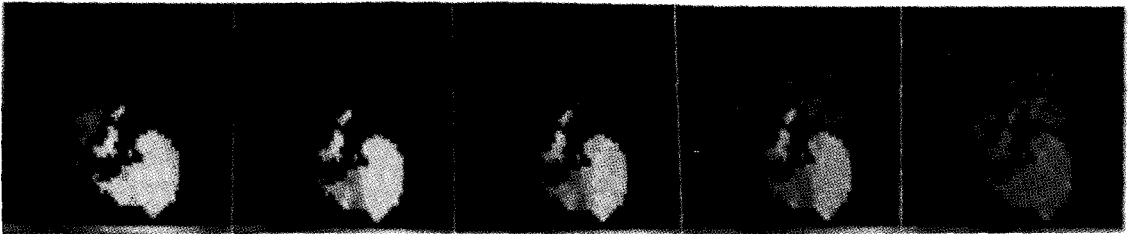


Fig. 3. Phase image in patient with Wolff-Parkinson-White syndrome.

의미 있게 증가하였다(95.7 ± 31.7 vs 51.3 ± 5.4 , $p < 0.05$, Table 3). 우각블록환자에서는 phase angle의 분포 표준편차, 전체 범위등은 대조군과 의미 있는 차이는 관찰되지 않았다(Table 3).

WPW증후군 환자에서는 대조군에 비해 위상각의 표준편차, 전체 위상각의 범위는 의미있게 증가하였지만 ($10.6 \pm 2.6\%$ vs 8.6 ± 1.8 , $p < 0.05$, 69.8 ± 11.7 vs 51.3 ± 5.4 , $p < 0.001$) 전체 위상각 반값의 폭은 차이가 없었다(Table 3).

3. 위상영상(Phase image)

위상영상분석에서는 정상심전도를 보인 환자에서는 위상각의 지연없이 좌심실과 우심실이 거의 동시에 수축하는 것을 관찰한 반면 좌각블록환자에서는 RV에 비하여 LV가 늦게 수축하였다. 우각블록환자에서는 LV에 비하여 RV가 늦게 수축하였다(Fig. 2).

WPW증후군환자에서는 심전도상 Gallagher의 분류⁹⁾에 의한 type A의 환자 6명중 4명의 환자에서는 좌심실의 초기 phase에 비하여 현저히 늦은 우심실 초기 phase을 보였으며 심전도상 type B의 환자 7명중 5명의 환자에서는 우심실의 초기 phase에 비하여 현저히 늦은 좌심실 초기 phase을 보여 심전도와 어느 정도 일치하는 것을 알 수 있었으나 4명의 환자에서는 정확히 알 수가 없었다(Fig. 3).

고 찰

정상 자극 전도계를 가진 심실의 전기적 활성화는 좌심실과 우심실의 수축이 거의 동시에 일어나지만¹⁻³⁾ 심전도장애 및 부경로(accessory pathway)를 가진 환자에서는 좌심실과 우심실의 활성화의 동시성(synchronous)을 상실하여 심장수축이 비정상적으로 이루어지지만 이러한 기계적인 이상 수축은 심장의 빠른 수축으로 인하여 증명하기가 어렵다¹⁻⁴⁾.

최근 GBPS에서 Fourier phase analysis를 이용하여 위상각 히스토그램을 구할 수 있으며 위상영상과 같은 여러가지 기능적 영상이 개발되었다. 이러한 영상분석을 통한 위상각은 blood pool의 움직임에 따른 변화(timing)이기 때문에 전기적 활성화과정(electrical activity)에 따른 심장의 기계적인 수축과정을 간접적으로 반영하게 된다.

Kastor등¹⁰⁾은 우각블록환자에서 전극도자(electrode catheter)을 이용하여 심실내막활성화(endocardial activation)을 관찰하여 이들 환자에서 우심실의 세 부위(inflow, outflow, apex)에서 활성화가 의미 있게 지연되는 것을 관찰하였으며 좌심실의 심첨부의 활성화는 정상이고 좌심실유출로(left ventricular outflow track)의 활성화는 정상인에 비하여 빠른 것을 관찰하였다.

Links 등¹¹⁾은 좌각블록인 환자를 대상으로 위상영상과 히스토그램을 통하여 이러한 분석을 시도하였으며, Rosenbush 등⁹⁾은 정상전도환자와 좌각블록환자에서 GBPS를 시행하여 좌심실과 우심실의 활성화 시간의 차이를 정량화하여 심도자검사(angiographic finding)과 전기생리학적검사(electrophysiologic study)와 일치된 결과를 보고 하였다.

본 연구에서도 위상각의 영상분석에서 심장의 전기적 활성화과정을 평가하여 정상인에서 증격이 가장 먼저 수축하고, 심첨부, 좌우심실은 거의 동시에 수축함을 관찰할 수 있었다. 우각블록환자에서는 이러한 동시성을 상실하여 좌심실이 먼저 수축하고 심실중격을 통하여 우심실의 수축하는 과정을 알 수 있었으며 좌각블록환자에서는 이와 반대되는 현상을 관찰할 수 있었다. 이것은 epicardial mapping을 통해 보고된 활성화 순서와 같다⁴⁾. 또한 좌각블록환자의 경우 좌심실의 초기와 말기의 비동시적인 수축이 일어나게 되고 따라서 위상각의 편차는 커지게 되므로 표준편차 뿐만 아니라 위상각의 전체범위(range of phase angle)역시 증가한 본 연구의 결과는 좌심실 내의 수축의 비동시성을 반영한다고 할 수 있다.

WPW증후군환자에서 비관혈적으로 Kent bundle의 위치를 알 수 있는 방법으로는 GBPS외에 심전도와 심초음파도가 있다. 그러나 심전도의 단순한 분석은 애매할 경우가 있고 활성화 과정을 시각적인 측면에서 정보를 제공해 주지 않는다. 또한 심초음파도를 통해서 심실의 이상수축을 관찰 함으로써 비관혈적으로 Kent bundle의 위치를 알 수 있지만 이러한 방법은 환자의 위치에 따라서 영향을 크게 받고 영상습득(echocardiographic image acquisition)과 분석에 객관성이 문제되기 때문에 정량화하기가 다소 어렵고 분석하는데 많은 노력이 필요하다¹²⁾. 이에 반해 위상영상은 단순하며 위상영상의 기능적이고 시각적인 측면에 의해 보다 객관적이며 정확하게 평가하여 심장의 활성화과정 및 심장운동을 한 눈에 알기 쉽게 나타낼 수 있는 장점이 있다⁶⁾.

Chan 등¹³⁾은 GBPS를 이용하여 비관혈적으로 Kent bundle의 위치결정을 시도하였으며 Botvinick 등¹⁴⁾은 구조적, 기능적장애가 없는 18명의 환자를 대상으로 위상 분석 및 히스토그램을 이용하여 양심실의 평균 위상각의 차이를 정량화하였고 가장 빠른 위상각을 보인 부위를 분석하여 전기생리학적 검사와 비교분석하여 17명

에서 이와 일치된 결과를 보여 심전도보다 우수하다고 하였다. Nakajima 등¹⁵⁾은 20명의 WPW 환자를 대상으로 phase analysis을 통하여 18명에서 Kent bundle의 위치를 수술후 정확히 확인할 수 있었고 수술전후 심실수축의 변화 및 양상을 비교평가하는데 유용하게 쓰일 수 있다고 하였다.

본 연구에서도 WPW증후군환자에서는 심전도상 Gallagher의 분류⁹⁾에 의한 type A의 환자 6명과 type B의 환자 7명에서 각각 5명에서 심전도와 어느 정도 일치하는 것을 알 수 있었으나 4명의 환자에서는 정확히 알 수가 없었다. 특히 이들 4명의 환자에서 심전도상 Kent bundle의 위치가 증격근처 부위(paraseptal area)에 있었으며 아마 GBPS상 각종 좌심기능에 대한 지표가 정상대조군에 비해 차이가 없음을 고려해 볼 때 위상영상 분석에서 위상각은 단순히 blood pool의 움직임에 따른 변화(timing)이기 때문에 각 방(chamber)에서의 blood pool의 겹침으로 인하여 이러한 결과가 나왔으리라 생각된다. 위상각 히스토그램상에서도 WPW증후군 환자에서는 위상각의 표준편차와 위상각의 범위는 유의한 차이를 보였고 전체반값폭은 정상대조군에 비하여 차이가 없어 위상각의 표준편차와 위상각의 범위가 좌심실수축의 동시성을 반영하는 좋은 지표로 생각되었다. 그러나 본 연구에서는 좌심실의 위상각 히스토그램만을 정량화하였고 좌심실 및 우심실을 각각 구분하여 위상각의 히스토그램을 구하지 않았기 때문에 Kent bundle의 위치에 따른 심실수축의 차이를 정량화할 수는 없었다.

위상각영상은 심실수축의 동시성이나 부정로의 위치를 알 수 있는 비관혈적인 검사이기는 하나 엄격히 이야기하면 위상각영상은 심실내 전기적 활성화를 반영하는 것이 아니므로 위상각의 변화가 생리적 변화를 정확히 반영한다고 생각할 수 없다. 위상각 분석은 감마카메라에 대하여 혈액 자체의 움직임을 반영하는 것으로 홍벽이나 횡격막의 운동, 수축시 좌심실의 회전등의 여러 요인에 좌우될 수 있다. 수백회의 심박주기 동안 심장의 운동과 감마카메라사이에 존재하는 홍벽, 횡격막의 운동, 호흡에 의한 변화등은 완전히 배제할 수 없다. 또 위상각 분석에서 가장 먼저 나타나는 위상의 변화가 실제로 가장 먼저 활성화(activation)되는 심실의 벽을 반영하지 못하는 단점이 있는데 이는 심장은 3차원의 운동을 하지만 감마카메라로 촬영한 영상은 2차원적인 화면으

로 위상영상은 심실내 또는 감마카메라와 심실 사이에 존재하는 구조물에 영향을 받을 수 있기 때문이다⁷⁾. blood pool에 영향을 줄 수 있는 상기한 여러 인자들이 위상영상에 어느 정도 영향을 미치는지 아직은 알 수 없지만 여러 방향에서 여러 각도로 GBPS를 시행하여 이러한 문제를 최소한으로 감소시킬 수 있으리라 생각되고 자동화 및 관심영역의 설정, 공간적인 측면의 기술개발이 필요하고, 많은 환자를 대상으로 다른 전도 장애 환자 와 국소심실 운동연구에 대한 평가가 필요하며 이를 심도자 검사와 intraoperative mapping의 결과와 연관성 등에 대한 보다 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 위상영상 분석은 심실내전도장애가 있는 환자에서 비정상적인 심실수축과정을 정량화할 수 있고, Kent bundle의 위치를 추정할 수 있어 심실내 전기적 활성의 비동시성을 추적관찰할 수 있는 비관혈적검사임을 확인할 수 있었다.

요 약

연구배경 : 정상적인 자극전도계를 통한 좌심실과 우심실의 전기적 활성은 거의 동시에 일어나지만 심실내에 자극전도 장애가 있는 경우 비정상적인 수축이 있게 된다. 이러한 변화는 자극전달의 속도가 빠르고 복잡하여 정량화할 수 없었다. 이에 심실내 전도장애가 있는 환자를 대상으로 방사성동위원소 심장풀스캔(radionuclide gated blood pool scan, GBPS)을 이용한 위상분석(phase image analysis)을 통하여 비정상적인 수축정도를 정량화하고자 하였다.

방법 : 심실내전도장애 환자 및 조기수축증후군환자에서 방사성동위원소 심장풀스캔을 이용하여 심전도상 전도장애를 보인 환자를 대상으로 좌심실 구혈률, 위상각, 위상각의 표준편차, 전체반값폭, 위상각의 범위를 측정하였으며 비정상적으로 수축하는 과정을 위상영상분석을 통하여 심실의 비정상적으로 수축하는 과정을 비교분석하였다.

결과 : 좌각블록환자에서는 위상각의 표준편차, 전체 반값폭, 위상각의 범위는 정상대조군에 비하여 유의한 차이를 보였으나 우각블록환자에서는 대조군과 차이가 없었다. WPW증후군환자에서는 위상각의 표준편차와 위상각의 범위는 유의하게 증가하였고 전체반값폭은 정

상대조군에 비하여 차이가 없었다.

정상심전도를 보인 환자에서는 위상각의 지연 없이 좌심실과 우심실을 거의 동시에 심장수축을 유발하는 것을 관찰한 반면 좌각블록을 가진 환자에서는 RV에 비하여 늦은 LV의 phase을 보였고, 우각블록을 가진 환자에서는 LV에 비하여 늦은 RV phase을 보였다. 또한 WPW 증후군환자의 77%에서 Kent bundle의 위치를 영상분석으로 추정할 수 있었다.

결론 : 이상의 결과로 GBPS의 위상영상분석은 심전도장애 및 조기수축증후군 환자에서 위상영상을 통하여 심장의 활성화 과정을 알아볼 수 있었으며 위상영상히스토프로그램을 통하여 이를 정량화하여 심실내 전기적 활성의 비동시성 여부를 추적관찰할 수 있는 비관혈적검사임을 확인하였다.

REFERENCES

- 1) Durrer D, VanDam RTH, Freud GE, Janse MJ, Meijler FI, Arzbaeher RC: *Total excitation of the isolated human heart. Circulation 41:899-912, 1970*
- 2) Rushmer RF, Crystal DK, Wagner C: *The functional anatomy of ventricular contraction. Circ Res 1:162-170, 1953*
- 3) Ingels NB Jr, Daughter G, Stinson EB, Alderman EI: *Evaluation of methods for quantitating left ventricular segmental wall motion in man using myocardial markers as a standard. Circulation 61:966-972, 1980*
- 4) Wyndham CRC, Smith T, Meeran MK, Mamma R, Levitsky S, Rosen KM: *Epicardial activation in patients with left bundle branch block. Circulation 61:696-703, 1980*
- 5) Rosenbush SW, Ruggie N, Turner DA, Von Behren PL, Denes P, Fordham EW, Groch MW, Messer JV: *Sequence and timing of ventricular wall motion in patients with bundle branch block. Circulation 66:1113-1119, 1982*
- 6) Botvinick E, Dunn R, Fraiss M, O'Connell W, Shosa D, Herfkens R, Scheinman M: *The phase image: Its relationship to patterns of contraction and conduction. Circulation 65:551-560, 1982*
- 7) Swiryn S, Pavel D, Byrom E, Pavel CM, Witham D, Meyer-Pavel C, Wyndham CRC, Handler B, Rosen KM: *Sequential regional phase mapping of radionuclide gated biventriculograms in patients with left*

- bundle branch block. Am Heart J 102:1000-1010, 1981*
- 8) Botvinick E, Fraiss M, O'Connell W, Faulkner D, Scheinman M, Morady F, Sung R, Shosa D, Dae M: *Phase image evaluation of patients with ventricular pre-excitation syndromes. J Am Coll Cardiol 3:799-814, 1984*
 - 9) Gallagher JJ, Pritchett ELC, Sealy WC, Kasell J, Wallace AG: *The preexcitation syndromes. Prog Cardiovasc Dis 20:285-327, 1978*
 - 10) Kastor JA, Goldreyer BN, Moore EN, Shelburne JC, Manchester JH: *Intraventricular conduction in man studied with an endocardial electrode catheter mapping technique. Circulation 51:786-796, 1975*
 - 11) Links JM, Douglass KH, Wagner HN: *Patterns of ventricular emptying by Fourier analysis of gated blood-pool studies. J Nucl Med 21:978-982, 1980*
 - 12) Chandra MS, Kerber RE, Brown DD, Funk B: *Echocardiography in Wolff-Parkinson-White syndrome. Circulation 53:943-946, 1976*
 - 13) Chan WWC, Kalff V, Dick M, Rabinovitch MA, Jenkins J, Thrall JH: *Topography of preemptying ventricular segments in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome using scintigraphic phase mapping and esophageal pacing. Circulation 67:1139-1146, 1983*
 - 14) Botvinick E, Fraiss M, O'Connell W, Faulkner D, Scheinman M, Morady F: *Phase image evaluation of patients with ventricular pre-excitation syndromes. J Am Coll Cardiol 13:799-814, 1984*
 - 15) Nakajima K, Bunko H, Tada A, Taki J, Tonami N, Hisada K, Misaki T, Iwa T: *Phase analysis in the Wolff-Parkinson-White syndrome with surgically proven accessory conduction pathways. J Nucl Med 25:7-13, 1984*