

완전 좌각 차단이 관상동맥 좌전하행지 혈류에 미치는 영향 : 경흉부 심초음파를 이용한 연구

가톨릭대학교 의과대학 내과학교실

박철수 · 윤호중 · 조은주 · 정해익 · 전희경 · 오용석
이만영 · 정옥성 · 노태호 · 김재형 · 최규보 · 홍순조

Influence of Left Bundle Branch Block on Left Anterior Descending Coronary Artery Flow : Study Using Transthoracic Doppler Echocardiography

Chul-Soo Park, MD, Ho-Joong Youn, MD, Eun-Joo Cho, MD, Hae-Ok Jung, MD, Hui-Kyung Jeon, MD, Yong-Seok Oh, MD, Man-Young Lee, MD, Wook-Sung Chung, MD, Tae-Ho Rho, MD, Jae-Hyung Kim, MD, Kyu-Bo Choi, MD and Soon-Jo Hong, MD

Department of Internal Medicine, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

ABSTRACT

Background and Objectives : To evaluate the influence of left bundle branch block (LBBB) on the coronary flow pattern of the left anterior descending coronary artery (LAD). **Subjects and Methods** : 91 patients (M : F=33 : 58, mean age : 64 ± 14 yrs) were divided into the LBBB (n=42), RV pacing (n=26) and control groups (n=23). All patients were examined by a surface ECG, and transthoracic Doppler echocardiograms performed. The QRS duration, the left ventricular ejection fraction (LVEF) and the left ventricular end diastolic volume (LVEDV) were measured. The coronary flow was measured in the distal LAD, with transthoracic Doppler echocardiography, and the percent of the diastolic flow duration (%DD) was expressed as the percentage of the diastolic duration of coronary artery flow divided by the R-R interval. **Results** : The %DD of the LAD was significantly shorter in patients of the LBBB than the RV pacing group ($59.3 \pm 7.6\%$ in control group, $43.9 \pm 12.4\%$ in LBBB group, $60.3 \pm 7.3\%$ in RV pacing group. $p < 0.01$) and the same in patients with a LVEF $\geq 50\%$ only ($58.6 \pm 6.0\%$ in control group, $49.3 \pm 10.5\%$ in LBBB group, $59.6 \pm 5.4\%$ in RV pacing group. $p < 0.01$). In the LBBB group, the %DD of the LAD was positively correlated with the LVEF ($p < 0.05$, $r = 0.50$), negatively correlated with the QRS duration ($p < 0.05$, $r = -0.41$) and negatively correlated with the LVEDV ($p < 0.05$, $r = -0.57$). **Conclusion** : Differing from RV pacing, LBBB can itself disturb the coronary flow of the LAD through the shortening of the diastolic duration. Furthermore, systolic dysfunction potentiates the shortening effect of the diastolic flow duration caused by LBBB. However, whether the left ventricular systolic dysfunction is the result of a coronary flow disturbance caused by LBBB, or vice versa, needs further investigation. (Korean Circulation J 2003;33(6):484-490)

KEY WORDS : Bundle branch block ; Diastole ; Cardiac pacing, artificial ; Ventricular function, left.

논문접수일 : 2003년 2월 21일

심사완료일 : 2003년 5월 3일

교신저자 : 윤호중, 150-713 서울 영등포구 여의도동 62 가톨릭대학교 의과대학 내과학교실

전화 : (02) 3779-1325 · 전송 : (02) 3779-1374 · E-mail : younhj@catholic.ac.kr

서 론

완전 좌각 차단은 말기 심부전 환자에서 흔히 관찰되는 심전도 소견이며 기질적인 심장질환이 없는 환자에서도 발견된다. 완전 좌각 차단을 보이는 환자에서 운동 부하 심전도는 관상동맥 질환을 진단하는데 비 특이적이며¹⁾ Dipyridamole²⁻⁵⁾이나 Adenosine⁶⁾⁷⁾등을 이용한 약물 부하 심근 관류 스캔이 보다 유용한 비 관혈적 방법으로 알려져 왔으나 이러한 핵의학적 검사 역시 좌각 차단환자에서는 위 양성 소견을 흔히 보인다.

Skalidis 등⁸⁾은 Doppler guide wire를 이용한 연구에서 완전 좌각 차단 환자에서 운동 부하 심근 관류 스캔 보다는 약물 부하 심근 관류 스캔이 위 양성의 결과가 적고 정상 심전도를 보이는 환자에 비해 이완기 좌전하행지 혈류가 최고 이완기 속도에 도달하는 시간이 길어짐을 보고하였으나 운동 부하 심근 관류 장애와의 관계는 미미하고 운동 부하 심근 관류 스캔에서의 관류 장애는 미세 혈관 기능 장애에 의한 관동맥 혈류 예비력의 감소로 설명한 바 있다. 그러나 완전 좌각 차단 환자에서 관동맥 혈류 예비력의 감소 원인이나 좌전하행지 혈류 변화의 의미 등을 제시하지는 못했다.

저자들은 완전 좌각 차단 환자에서 흔히 관찰되는 심근 관류 스캔에서의 관류 장애의 원인 및 기전, 완전 좌각 차단이 관동맥 특히 좌전하행지 혈류에 미치는 영향과 의미가 아직까지 불분명한 상태이기에 경흉부 심초음파를 이용하여 좌전하행지 혈류를 직접 관찰하고 특히 완전 좌각 차단과 유사한 심전도 소견을 보이는

우심실 조율 환자와 비교하여 완전 좌각 차단이 좌전하행지의 혈류에 미치는 영향과 기전을 알아보고 좌전하행지 혈류의 변화와 심장의 혈액학적 변화 사이의 관계를 도출하여 임상적 의미를 찾고자 하였다.

대상 및 방법

대 상

2000년 5월부터 2002년 12월 사이에 가톨릭 의대 성모 병원에 내원한 환자중 심전도상 완전 좌각 차단군 42명(남 : 여=13 : 29, 평균연령 : 67 ± 13 세), 우심실 조율군 26명(남 : 여=11 : 15, 평균연령 : 65 ± 14 세), 정상 대조군 23명(남 : 여=11 : 12, 평균연령 : 56 ± 10 세)을 대상으로 하였다. 대상 환자 중에서 심근 경색의 과거력, 중등도 이상의 심장 판막질환, 비후성 심근증을 보이는 경우는 본 연구에서 제외시켰다.

방 법

심전도

심전도는 MACVU(Maraquette, USA)를 이용하였으며 R-R interval, QRS duration을 측정하였다.

경흉부 심초음파를 이용한 관동맥 좌전하행지 혈류의 측정 (Fig. 1)

경흉부 심초음파를 이용하여 기존의 방법대로 이완기 및 수축기말 용적, 좌심실 구혈률을 측정하였고 12

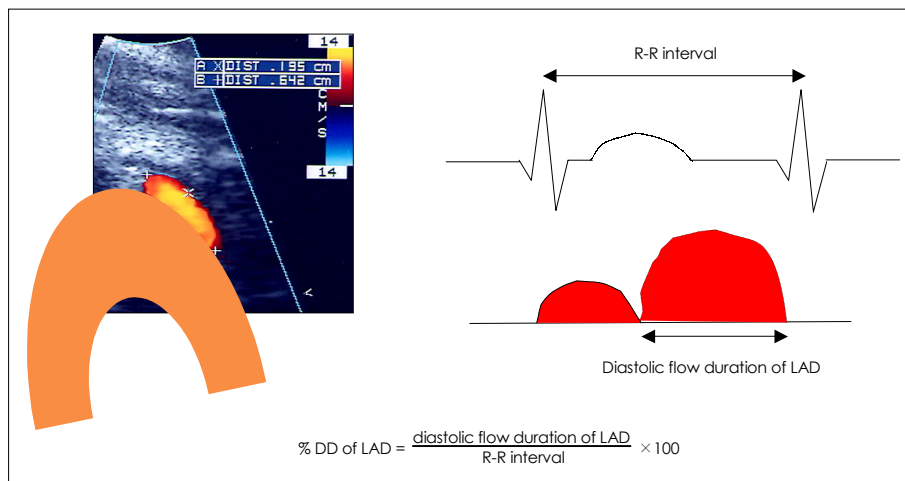


Fig. 1. Echocardiographic detection of distal LAD flow and calculation of % DD of LAD. LAD: left anterior descending coronary artery, % DD of LAD: % distolic flow duration of LAD.

MHz의 고주파 탐촉자(Ultraband transducer, H-P Sonos 5500)를 좌측 쇄골 중앙선상의 4번째와 5번째 늑간 사이에 위치시킨 후 심점 2방도를 변형시켜서 심첨부를 보이게 한 후 기계에 내장되어 있는 낮은 속도 범위(low velocity range)를 갖는 색 도플러를 작동시켜서, 심첨부 근처에 붉은색의 관상의 전향적 혈류가 관찰되면, 가능한 sample volume을 혈류 방향에 수평이 되도록 각도를 조절한 후 간헐 파형 도플러 상 이완기가 주를 이루는 혈류를 확인한 후 최소 3번 이상의 심주기에서 최대 이완기 혈류 속도(peak diastolic velocity, PDV, cm/sec), 평균 이완기 혈류 속도(mean diastolic velocity, MDV, cm/sec), 속도 시간 적분(velocity time integral, VTI, cm)을 측정하였다.

% 좌전하행지 이완기 혈류 지속 시간(% diastolic flow duration, 이하 %DD)의 측정(Fig. 1)

%DD는 심전도에서 측정된 R-R 간격에 대한 경흉부 심초음파상 이완기 혈류의 지속 시간의 비를 백분율화 하여서 계산 하였다.

통계 분석

모든 자료는 평균±표준편차로 표시하였으며 통계분석에는 윈도우 용 SPSS 10.0(Statistical Package for Social Science) 프로그램을 이용하였고 각 군간의 관상 동맥 혈류의 간헐 파형 도플러 지표의 비교는 ANOVA 검정으로 비교하였으며 사후 검정은 Tukey's b test를 시행하였다. 통계적 유의성은 p값이 0.05미만인 경우로 하였다.

Table 1 . Patients characteristics

	Control (n=23)	LBBB (n=42)	RV pacing (n=26)
Age, yrs	56 ± 10	67 ± 13*	65 ± 14*
Male sex (%)	11 (48)	13 (31)	11 (42)
DM (%)	3 (13)	5 (12)	3 (12)
HTN (%)	6 (26)	11 (26)	6 (23)
Smoking (%)	4 (17)	4 (10)	4 (15)
TC, mg/dl	194.1±58.8	198.6±53.9	208.4± 40.8
TG, mg/dl	164.6±85.1	171.8±56.1	180.1±133.8
HDL, mg/dl	49.3±13.7	39.1±12.1	43.0± 10.2

Values are mean and SD. LBBB : left bundle branch block, RV : right ventricle, HTN : hypertension, DM : diabetes, TC : total cholesterol, TG : triglyceride, HDL : high density lipoprotein cholesterol. * : p<0.05 versus control

결 과

환자의 임상적 특성 (Table 1)

각 군간 성별, 당뇨병, 고혈압의 유병율, 흡연율, 혈중 콜레스테롤치의 차이는 없었고 정상 대조군에 비해 완전 좌각 차단과 우심실 조율군의 평균연령이 높았다 (p<0.05). 각 군간 심박수는 정상 대조군 67±14회/분, 완전 좌각 차단군 72±17회/분, 우심실 조율군 60±7회/분으로 완전 좌각 차단군에서 우심실 조율군에 비해 더 빠른 심박수를 보였으나(p<0.05) 모든 대상 환자에서 정상범위의 심박수를 보였다.

정상 심전도, 완전 좌각 차단, 우심실 조율 환자의 심 초음파 지표 (Table 2)

각 군간 좌심실 이완기 말 용적 및 수축기 말 용적, 좌전하행지 속도 시간 적분에는 유의한 차이가 없었고 좌심실 구혈율은 완전 좌각 차단군에서 정상 심전도 군이나 우심실 조율군에 비해 유의한 감소를 보였다 (p<0.05). 최대 이완기 혈류 속도는 완전 좌각 차단군에서 정상 심전도 군이나 우심실 조율군에 비해 유의한 상승을 보였으며(p<0.05) 평균 이완기 혈류 속도는 완전 좌각 차단군에서 우심실 조율군에 비해 유의한 상승을 보였다(p<0.05).

정상 심전도, 완전 좌각 차단, 우심실 조율 환자에서의 좌전 하행지 %DD의 차이 (Fig. 2, 3)

좌전하행지 % DD는 정상 대조군 59.3±7.6%, 완전 좌각 차단군 43.9±12.4%, 우심실 조율 군 60.3±

Table 2 . Echocardiographic parameters

	Control (n=23)	LBBB (n=42)	RV pacing (n=26)
LVEF (%)	55 ± 9	43 ± 14*	53 ± 9
LVEDV (mL)	59 ± 22	91 ± 54	73 ± 34
LVESV (mL)	25 ± 11	48 ± 37	33 ± 23
PDV (cm/sec)	23.1±13.6	30.1±11.5†	22.7± 7.0
MDV (cm/sec)	18.4±11.6	22.7± 8.1†	17.0± 5.4
VTI (cm)	9.7± 5.9	8.4± 3.2	10.4± 3.6

Values are mean and SD. LBBB : left bundle branch block, RV : right ventricle, LVEF : left ventricular ejection fraction, LVEDV : left ventricular end diastolic volume, LVESV : left ventricular end systolic volume, PDV : peak diastolic velocity, MDV : mean diastolic velocity, VTI : velocity time integral. * : p<0.05 versus control, † : p<0.05 versus RV pacing, ‡ : p<0.05 versus control and RV pacing

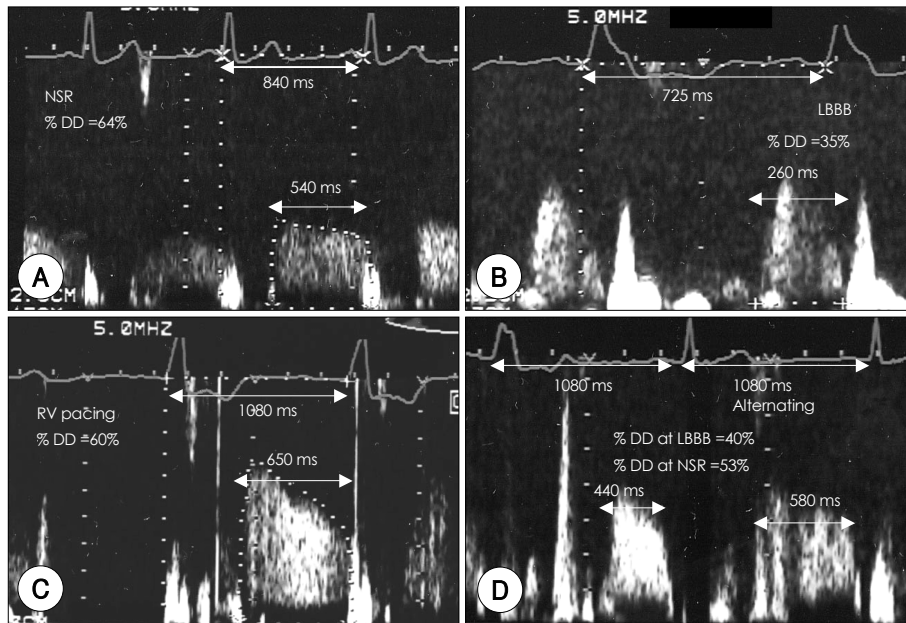


Fig. 2. LAD flow patterns in control (A), LBBB (B), RV pacing (C), and alternating normal and LBBB (D). % DD of LAD in LBBB is shorter than that of control or RV pacing. Interestingly, in the patient with alternating normal and LBBB (D), % DD of LAD shortens in LBBB state and normalizes following the EKG becomes normal. LAD : left anterior descending coronary artery, LBBB : left bundle branch block, RV : right ventricle, % DD : % diastolic flow duration, EKG : electrocardiography.

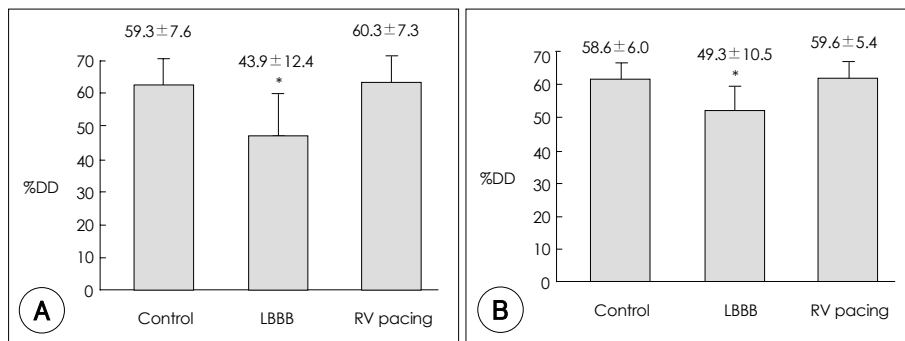


Fig. 3. % DD of LAD in control, LBBB, and RV pacing group in all patients (A) and in patients with LVEF ≥ 50% (B). % DD : % diastolic flow duration, LAD : left anterior descending coronary artery, LBBB : left bundle branch block, RV : right ventricle. * : p<0.05 versus RV pacing and control group.

7.3%로 정상 대조군과 우심실 조율군간에는 차이가 없었으나 완전 좌각 차단군은 정상 대조군이나 우심실 조율군에 비해 현저히 감소하였다($p<0.01$). 또한 좌심실 구혈율이 50%이상인 비교적 정상 좌심실 수축 기능을 갖는 환자만을 대상으로 한 좌전하행지 %DD 역시 정상 대조군 $58.6 \pm 6.0\%$, 완전 좌각 차단군 $49.3 \pm 10.5\%$, 우심실 조율군 $59.6 \pm 5.4\%$ 로 정상 대조군과 우심실 조율군간에는 차이가 없었으나 완전 좌각 차단군은 정상 대조군이나 우심실 조율군에 비해 현저히 감소하였

다($p<0.01$).

완전 좌각 차단환자에서 좌심실 수축기능, 좌심실 이완기말 용적 및 QRS duration과 %DD와의 관계(Fig. 4)

완전 좌각 차단 환자에서 좌심실 구혈율이 높을 수록 %DD가 길어지는 양의 선형 관계를 이루었고 ($r=0.50$, $p<0.05$) 좌심실 이완기 말 용적이 증가할 수록 %DD가 짧아지는 음의 선형 관계를 보였으며 ($r=-0.57$, $p<0.05$) QRS duration이 증가할수록 %

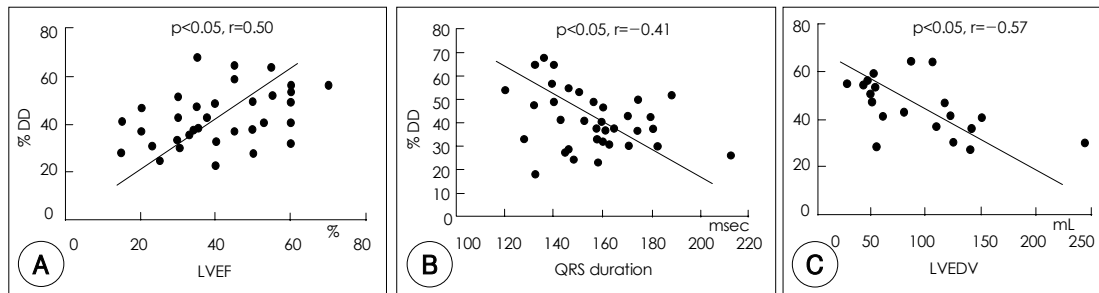


Fig. 4. % DD of LAD in relation to LVEF, QRS duration and LVEDV in LBBB. % DD : % diastolic flow duration, LAD : left anterior descending coronary artery, LVEF : left ventricular ejection fraction, LVEDV : left ventricular end diastolic volume, LBBB : left bundle branch block.

DD가 짧아지는 음의 선형 관계를 보였다($r = -0.41$, $p < 0.05$).

고 찰

완전 좌각 차단 환자에서 관상 동맥 질환을 진단하는 비 관혈적 방법은 위 양성을 보이는 경우가 흔히 있어 진단적 가치가 떨어진다. Lebtahi 등⁴⁾은 완전 좌각 차단 환자중 운동 부하 심근 관류 스캔에서 73%의 환자에서 심실 중격이나 전 중격부위에 관류 장애가 관찰되지만 실제 좌 전 하행지에 협착을 보인 환자는 10%로서 위 양성의 경우가 흔하다고 보고하였고 약물 부하 심근 관류 스캔은⁶⁾⁷⁾ 운동 부하 관류 스캔에 비해 특이도는 높지만 여전히 위양성의 결과가 드물지 않은 것으로 보고 되고 있다.

정상 좌전하행지의 혈류는 수축기 동안 심근내 혈관이 벽내 압박을 받기 때문에 주로 이완기 시에 혈류가 공급되는 이상성 형태(biphasic pattern)를 보인다.⁹⁾ Ono 등¹⁰⁾은 개를 이용한 실험에서 완전 좌각 차단을 유도하면 심실 중격의 벽 내 압박 압력의 양상에 변화를 보이게 되는데 정상 전도일 경우에는 최고 벽 내 압박 압력이 초기 혹은 중기 수축기에 발생하나 완전 좌각 차단 시에는 후기 수축기 또는 초기 이완기로 늦어진다는 것을 보고하였다.

본 연구에 따르면 완전 좌각 차단 시 좌전하행지의 % DD가 감소하는데 이것은 이전의 Ono 등¹⁰⁾의 동물 실험에서 알 수 있듯이 심실 중격의 최고 벽 내 압박 압력의 발생이 늦어짐으로 인해 좌전하행지의 초기 이완기 혈류의 장애가 발생하고 이로 인해 이완기 혈류의 발생이 늦어지기 때문일 것으로 생각된다. 본 연구에서

완전 좌각 차단환자에서 QRS duration과 좌전하행지 % DD사이에는 음의 상관 관계를 보이는 이유로 QRS duration이 증가하여 심근내 전도가 느려지고 심실 중격의 이완이 더욱 지연되어 결국은 완전 좌각 차단의 좌전하행지 %DD의 감소 효과를 상승시키는 작용 때문일 것으로 생각된다.

또한 본 연구에서 %DD는 좌심실 이완기 말 용적과 음의 상관관계를 보였는데 좌심실 이완기 말 용적이 증가할수록 심근에 대한 압박 압력이 증가하여 심근내 관동맥의 혈류를 더욱 저해할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 완전 좌각 차단과 유사한 심전도 소견을 보이는 우심실 조율시에도 좌전하행지 혈류에 방해를 초래하는지에 대한 연구를 함께 시행하였으나 우심실 조율시에는 정상 대조군과 비교해서 좌전하행지 %DD에는 차이를 보이지 않았다. 유사한 심전도 소견을 보이지만 우심실 조율시에 정상적인 좌전하행지 혈류를 보이는 이유로는 완전 좌각 차단과 우심실 조율시 심내막 활성의 방향이 다르기 때문인 것으로 생각된다. 관상동맥 질환이 없는 환자에서 완전 좌각 차단 시 좌심실 중 가장 먼저 활성화 되는 부위는 측벽과 심첨부이고 여기에서부터 하벽 및 심실 중격으로 활성화 되므로¹¹⁾ 심실 중격은 비교적 가장 늦게 활성화되고 가장 늦게 이완된다. 반면 우심실 조율시에는 심실 중격에서 가장 먼저 활성화되고 이것이 하벽이나 전벽으로 전도된다.¹²⁾ 이러한 차이가 완전 좌각 차단에서는 좌 전 하행지 혈류와 관계가 깊은 심실 중격의 최고 벽내 압박 압력이 흔히 지연되지만 우심실 조율에서는 그렇지 않은 이유가 될 수 있다.

완전 좌각 차단에서 짧아진 좌전하행지 혈류 지속 시간의 임상적 의미는 첫째로 완전 좌각 차단에서 운동

부하 혹은 약물 부하 심근 관류 스캔시 주로 전벽이나 심실 중격에서 관류 장애를 나타나게 하는 이론적 배경이 될 수 있고 둘째로 완전 좌각 차단군에서 좌심실 수축기능과 좌 전 하행지 %DD 사이에는 음의 선형 관계가 있었고 좌심실 구혈율이 50%이상인 비교적 정상 좌심실 수축기능을 갖는 환자만을 대상으로 한 결과 역시 완전 좌각 차단군에서 유의한 좌전하행지 %DD의 감소를 관찰할 수 있었기에 완전 좌각 차단 자체만으로 좌전하행지 혈류의 장애를 가져올 수 있고 이것이 좌심실 수축기능에 영향을 미칠 수 있을 것으로 추론된다.

본 연구의 제한점으로는 전체 대상에서 관동맥 조영술이 시행되지 않았다는 점이다. 비록 심근경색의 기왕력이 있는 환자는 본 연구 대상에서 제외하였으나 좌전하행지 협착 여부 및 정도가 이완기 혈류 지속 시간에 일부 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다. 또한 전체 대상에서 운동 부하 및 약물 부하 심근 관류 스캔을 시행하지 못함으로 해서 위의 임상적 의미로써 제시한 좌전하행지 혈류 지속시간과 관류 장애와의 구체적인 관계를 조명해 내지 못했다.

본 연구를 통하여 완전 좌각 차단에서 심근 관류 스캔에서의 관류 장애를 설명함에 있어 비록 Skolidis 등⁸⁾은 미세 혈관 기능 장애에 의한 관동맥 혈류 예비력의 감소로 설명한 바 있지만 좌전하행지 자체의 이완기 혈류 장애를 또 하나의 기전으로 생각해 볼 수 있으며 완전 좌각 차단이 지속될 때 좌전하행지의 혈류 장애가 심근의 허혈 손상을 가져옴으로써 궁극적으로 좌심실의 수축 기능을 감소시킬 수 있는 가능성을 보여주었다. 아직까지 완전 좌각 차단과 좌심실 기능 부전과의 인과관계는 불분명 하지만, 경흉부 심초음파를 이용한 좌전하행지의 혈류 관찰을 통하여 정상 범위의 좌심실 구혈율을 갖는 환자를 대상으로 한 전향적인 연구가 이루어져야 될 것으로 사료된다.

요 약

배경 및 목적 :

완전 좌각 차단 환자에서 심근 허혈의 기전과 임상적 의미를 경흉부 심초음파를 이용한 좌전하행지 혈류의 관찰을 통해 알아보고자 하였다.

방 법 :

91명(남 : 여=33 : 58, 평균 연령 : 64 ± 14 세)의 환

자를 심전도상 완전 좌각 차단군 42명(남 : 여=13 : 29, 평균 연령 : 67 ± 13 세), 우심실 조율군 26명(남 : 여=11 : 15, 평균 연령 : 65 ± 14 세), 정상 대조군 23명(남 : 여=11 : 12, 평균 연령 : 56 ± 10 세)으로 나누어 심전도상 R-R interval, QRS duration을 측정하였고 경흉부 심초음파를 시행하여 기본적인 심초음파 지표와 고주파 탐촉자를 이용해 관상동맥 좌전하행지 혈류를 관찰하였다. % 좌전하행지 이완기 혈류는 심전도에서 측정한 R-R interval에 대한 이완기 좌전하행지 이완기 관류 기간의 비를 백분율화 하여 계산하였다.

결 과 :

각 군의 좌전하행지 %이완기 혈류 지속 시간(%DD)은 정상 심전도군 $59.3 \pm 7.6\%$, 완전 좌각 차단군 $43.9 \pm 12.4\%$, 우심실 조율군 $60.3 \pm 7.3\%$ 로 정상 심전도군과 우심실 조율 군간에 유의한 차이는 없었으나 완전 좌각 차단군은 정상 심전도 군이나 우심실 조율군에 비해 현저히 감소된 소견을 보였다($p < 0.01$). 좌심실 구혈율 50%이상인 환자만을 대상으로 한 결과 역시 정상 심전도군 $58.6 \pm 6.0\%$, 완전 좌각 차단군 $49.3 \pm 10.5\%$, 우심실 조율 군 $59.6 \pm 5.4\%$ 로 정상 심전도군과 우심실 조율군간에는 차이가 없었으나 완전 좌각 차단군은 정상 심전도군이나 우심실 조율군에 비해 현저히 감소하였다($p < 0.01$). 완전 좌각 차단 군에서 좌전하행지 %DD는 좌심실 수축 기능과는 양의 선형 관계($r = 0.50$, $p < 0.05$), QRS duration과는 음의 선형 관계($r = -0.41$, $p < 0.05$), 이완기 말 좌심실 용적과는 음의 선형 관계($r = -0.57$, $p < 0.05$)를 이루었다.

결 론 :

완전 좌각 차단은 좌전하행지의 이완기 혈류의 발생이 지연됨으로써 이완기 혈류 기간의 감소를 야기하고 이것은 운동 부하 혹은 약물 부하 심근 관류 스캔에서의 관류장애의 이론적 근거가 될 수 있다.

중심 단어 : 완전 좌각 차단 ; 좌전하행지 이완기 혈류 ; 우심실 조율 ; 좌심실 수축기능.

REFERENCES

- 1) Orzan F, Garcia E, Mathur VS, Hall FJ. Is the treadmill exercise test useful for evaluating coronary artery disease in patients with complete left bundle branch block? *Am J Cardiol* 1978;42:36-40.
- 2) Burns FJ, Galligan L, Wright LM, Lawand S, Burke RJ, Galdstone PJ. Improved specificity of myocardial thallium-

- 201 single-photon emission computed tomography in patients with left bundle branch block by dipyridamole. *Am J Cardiol* 1991;68:504-8.
- 3) Rockett JF, Wood WC, Moinuddin M, Loveless V, Parrish B. Intravenous dipyridamole thallium-201 SPECT imaging in patients with left bundle branch block. *Clin Nucl Med* 1990;15:401-7.
 - 4) Lebtahi NE, Stauffer JC, Delaloye AB. Left bundle branch block and coronary artery disease: accuracy of dipyridamole thallium-201 single-photon emission computed tomography in patients with exercise antero-septal perfusion defects. *J Nucl Cardiol* 1997;4:266-73.
 - 5) Jukema JW, van der Wall EE, van der Vis-Melsen MJ, Kruyswijk HH, Bruschke AV. Dipyridamole thallium-201 scintigraphy for improved detection of left anterior descending coronary artery stenosis in patients with left bundle branch block. *Eur Heart J* 1993;14:53-6.
 - 6) O'Keefe JH Jr, Bateman TM, Barnhart CS. Adenosine thallium-201 is superior to exercise thallium-201 for detecting coronary artery disease in patients with left bundle branch block. *J Am Coll Cardiol* 1993;21:1332-8.
 - 7) Vaduganathan P, He ZX, Raghavan C, Mahmarian JJ, Verani MS. Detection of left anterior descending coronary artery stenosis in patients with left bundle branch block: exercise, adenosine or dobutamine imaging? *J Am Coll Cardiol* 1996;28:543-50.
 - 8) Skolidis EI, Kochiadakis GE, Koukouraki SI, Parthenakis FI, Karkavistas NS, Vardas PE. Phasic coronary flow pattern and flow reserve in patients with left bundle branch block and normal coronary arteries. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:1338-46.
 - 9) Wigger CL. The interplay of coronary vascular resistance and myocardial compression in regulating coronary flow. *Circ Res* 1954;2:271-8.
 - 10) Ono S, Nohara F, Kambara H, Okuda K, Kawai C. Regional myocardial perfusion and glucose metabolism in experimental left bundle branch block. *Circulation* 1992;85:1125-31.
 - 11) Vassallo JA, Cassidy DM, Marchlinski FE, Buxton AE, Waxman HL, Doherty JU, Josephson ME. Endocardial activation of left bundle branch block. *Circulation* 1984;69:914-23.
 - 12) Vassallo JA, Cassidy DM, Miller JM, Buxton AE, Marchlinski FE, Josephson ME. Left ventricular activation during right ventricular pacing: effect of underlying heart disease. *J Am Coll Cardiol* 1986;7:1228-33.