

심전도상 ST-T절 전기적 상호교대맥과 심실성부정맥과의 관계

대구가톨릭병원 내과

김유홍 · 오성윤 · 임달수 · 현대성 · 장성국

영남대학교 의과대학 내과학교실

유영훈 · 김영조 · 심봉섭 · 이현우

= Abstract =

The Relationship Between ST-T Electrical Alternans on EKG and Ventricular Arrhythmia

You Hong Kim, M.D., Seong Yun O, M.D., Dal Soo Lim, M.D.,
Dae Seong Hyun, M.D., Sung Gug Chang, M.D.

Department of Internal Medicine, Daegu Catholic Hospital

Young Hoon You, M.D., Young Jo Kim, M.D.,
Bong Sup Shim, M.D., Hyun Woo Lee, M.D.

Department of Internal Medicine, College of Medicine, Yeung Nam University Hospital

In order to observe the development of ventricular arrhythmia during regional myocardial ischemia and reperfusion, especially under the presence or absence of ST-T electrical alternans on epicardial EKG.

The proximal left descending coronary artery(LAD) was ligated for 20 minutes and then reperfused suddenly in twenty-three cats. Standard lead EKG(Lead II), chest lead EKG and epicardial lead EKG were recorded simultaneously during the occlusion and reperfusion respectively.

During the ligation of LAD, STEA was observed in thirteen cats(56.5%). In occlusion period, the incidence of ventricular tachycardia in STEA positive group was significantly higher than in the negative group($p < 0.01$) and arrhythmic score was significantly higher($p < 0.005$) also.

In the reperfusion period the incidence of ventricular fibrillation in STEA positive group was significantly higher than in the negative group($p < 0.025$). But there was the tendency to be higher in arrhythmic score of STEA positive group.

There were no differences in heart rate, systolic left ventricular pressure, ST elevation and ST width in both groups.

Most forms of ST-T of sinus rhythm before and after development of ventricular premature beat was low form(L).

It was concluded that at the presence of STEA on EKG, the incidence of ventricular arrhythmia was more prevalent. So, STEA can be available as a marker of ventricular arrhythmia and prognostic factor.

KEY WORDS : Ventricular arrhythmia · ST-T electrical alternans.

서론

심전도상 ST-T절 전기적 상호교대맥을 발견할 수 있는 경우는 주기적으로 혈액역동학적 변화를 동반하는 기계적 교대맥과 혈액역동학적 변화가 없고 단순히 전기생리학적 이상을 나타내는 전기적 교대맥으로 구분할 수 있다.

이러한 ST-T절 전기적 상호교대맥은 심낭삼출시 가장 많이 발견되나¹⁻⁷⁾, 그외 propylthiouracil, sympathomimetics 혹은 digitalis 중독증, 급성관동맥 폐색, 폐성심, 음혈성 심부전증, 류마티스성 심장질환, 고혈압 및 유전분증때 가끔 발견되고^{1,2,8-12)}, 또 드물긴 하지만 발작성 빈맥, 심실수축기와 박동후 그리고 급성심근경색 환자에서 pacemaker에 의해 유발된 심실박동¹³⁻¹⁵⁾때 발견된다. 또한 관동맥결찰을 시행한 여러 동물실험에서 관찰되었다^{12,16-19)}. 심전도상 나타나는 상호교대맥으로는 QRS파⁴⁾, T파^{8,13)} 및 P파^{10,11)}등과 전자들의 조합^{1,3,5-8)}으로 나타나는 ST-T절 전기적 상호교대맥¹³⁾등이 있다. 이중 특히 ST-T절 상호교대맥(ST-T electrical alternans; STEA, 이하 STEA로 약칭함)이 있는 경우는 심실빈맥의 빈도가 높게 나타난다고 한다²⁰⁻²³⁾. STEA는 Hellerstein과 Liebow등¹²⁾에 의해 이루어진 개의 관동맥을 결찰한 실험에서 많이 보고되었으나 사람에게 있어서 보고는 흔치 않다.

Levine등²⁴⁾은 칼륨 중독증의 환자에서 또 Rosen²⁵⁾은 심한 삼첨판 폐쇄증을 가진 청색증의 유아에서 STEA를 관찰하였다. 최근 Williams등²⁰⁾은 이형협심증을 가진 환자에서 STEA를 관찰하였다. 사람에서 STEA의 보고가 낮은 것을 실질적인 빈도가 낮아서라기 보다는 이의 출현을 놓치는 경우가 많아서인 것으로 보여지며 실질적인 빈도는 더 높을 것으로 보여진다^{21,26)}고 하였다.

저자는 STEA와 심실부정맥과의 관계를 입증함

으로써 STEA의 출현시 그 예후 및 치료에 대한 도움을 얻고자, 사람들에서 흔히 볼 수 있는 이형협심증과 병태생리학적으로 같은 기전인 관동맥결찰을 고양이에게 시행함으로써 다음과 같은 결과를 얻었기에 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험동물은 체중 2~4kg의 건강한 고양이 23마리를 암수 구별없이 사용하였으며 마취는 분말제인 secobarbital을 증류수에 용해시켜 20mg/kg를 정맥주사하여 유도하였고, 필요에 따라 0.5mg/kg를 수시로 추가하여 마취를 유지하였다. 고양이를 마취한 후 자발호흡동안 실험대 위에 양와위로 고정하고 기관절개를 시행하여 내경 5mm의 기도내관으로 기도를 확보하고 인공호흡장치를 사용하여 실내공기로 양압인공호흡(Harvard model 607 respirator)을 실시하여 동맥혈의 PCO₂를 25~30mmHg, PO₂를 80mmHg이상 그리고 pH를 7.35~7.40으로 유지하였다. 체온은 35°C이상으로 유지하였다. 검상돌기에서 흉골좌연을 따라 제 2늑골까지를 절개하여 심장을 노출시키고 심막을 절개하여 심막요람을 만들었다.

실험중 국소허혈을 유도하기 위하여 좌전하행 관동맥(left anterior descending coronary artery, 이하 LAD라 함)의 기시부에서 0.5cm 이내 부위에서 동맥 주위에 3-0 견사를 둘러싼 후 길이 1cm, 직경 3mm의 폴리에틸렌관을 통하여 견사를 넣은 다음 필요시 견사 끝을 겹자로 죄어서 혈류를 차단하였다. LAD를 결찰하였을 때 허혈이 예상되는 부위에 지름 5mm의 동근 Ag/AgCl 심전도 전극을 심외막에 꿰매어 붙여 양극으로 하고 검상돌기 근처에 다른 하나를 붙여 음극으로 하여 심외막 심전도를 얻었다. 좌심실압파를 측정하기 위하여 18 G 카테터를 좌심실에 삽입하였고, catheter와 LAD

결찰에 따른 혈전을 방지하기 위하여 헤파린을 주입한 생리식염수(10unit/cc)을 간헐적으로 catheter를 통하여 주사하였다. 사지유도를 통하여 표준심전도(유도 II)를 지속적으로 기록하였다. LAD를 결찰하여 20분간 혈류를 폐색시킨 후 재관류시켜 부정맥의 발생을 관찰하였다. 이때 허혈성 심근의 재관류는 좌심실이 수초이내에 붉은 색으로 돌아오는 것으로 확인하였다. 기록장치는 3-channel physiography를 사용하여 표준심전도(유도 II), 심외막 심전도 및 좌심실압을 지속 10 mm/sec로 기록하고 5분간격으로 30초동안 25mm/sec로 기록하였으며 악성부정맥이 나타나는 경우에도 25mm/sec로 기록하였다. 기록은 혈류 폐색전부터 시작하여 재관류 10분후까지 지속적으로 시행하였다. 심외막 심전도와 표준 심전도(유도 II)에서 심실기의 수축과 심실빈맥 및 심실세동을 계수하였다. 심실빈맥은 심실기의 수축이 3개이상 연속으로 나타나는 것으로 하였고, 심실세동은 좌심실압의 급격한 저하를 동반하는 적어도 4주기 이상 반복되는 QRS파의 혼돈 형태로서 판단하였다. 실험도중에 발생한 심실세동을 제세동시키는 어떠한 시도도 하지 않았다.

허혈성 및 재관류 심실빈맥과 심실세동의 빈도와 함께 부정맥의 정도를 양적으로 판단하기 위하여 허혈성 부정맥에서는 Curtis등²⁷⁾이 사용한 0에서 9까지의 계층적 척도에 의한 부정맥 점수를 구하였고, 재관류부정맥에서는 McLenna등²⁶⁾이 사용한 척도를 사용하였다. STEA의 판단기준은

1) ST-T절의크기 및 형태가 매심박마다 서로 다르게 나타나고, 2) R-R간격은 일정하게 유지되고, 3) R파로 부터 120msec에서 ST-T절 높이를 측정했을시 상호교대맥 즉 큰형태(이하 H형으로 표시)와 작은형태(이하 L형으로 표시)의 차이가 1.0mV이상 차가 있을 시로 규정하였다. 그 형태는 차이가 있으나 그림 1에서 보는 것과 마찬가지로 대개 2가지 형태로 구분되었다.

결과의 통계 처리는 평균치 및 표준편차를 구하여 X²-test와 Student t-test를 이용하여 비교하였으며 p값이 0.05이하인 경우를 통계적인 의의가 있는 것으로 하였다.

결 과

고양이 23마리중 13마리(56.5%)에서 STEA가 관찰되어 STEA 양성군과 음성군 사이의 부정맥 빈도를 관찰하였다.

허혈시 STEA 양성군인 고양이에서 Curtis등에 의한 부정맥 점수가 3.0 ± 0.7 로 STEA 음성군의 1.5 ± 1.4 에 비해 유의한 증가가 있었으며($p < 0.005$), 심실빈맥의 빈도도 STEA 양성군인 전 고양이에서 심실빈맥이 모두 발생한 반면 STEA 음성군에서는 10마리중 5마리에서 발생함으로써 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 그러나 단일한 심실기와수축이나 2연발 심실기의수축의 빈도는 STEA 양성군에서 높은 비율로 나타났으나, 통계적 유의성은 없었다(Table 1).

Table 1. The relationship between the arrhythmias during the occlusion of the left anterior descending coronary artery and ST-T electrical alternans

	N	Arrhythmia score ⁺	Single PVC*	Couplet	VT**
STEA # positive	13	3.0 ± 0.7	100% (13/13)	92.3% (12/13)	100% (13/13)
STEA # negative	10	1.5 ± 1.4	90% (9/10)	70.0% (7/10)	50% (5/10)
		$P < 0.005$	N-S	N-S	$P < 0.01$

(Mean \pm SD)

#ST-T electrical alternans

+ By means of the method which Curtis used

*Premature ventricular contraction

**Ventricular tachycardia

N-S : Not significant

재관류시 STEA 양성군인 고양어군에서 McLenna등에 의한 부정맥 점수가 높았으나 통계적 유의성은 없었으며 심실빈맥 역시 전 고양어에서 모두 발생하였으나 통계적 유의성은 없었다. 심실세동의 빈도는 STEA 양성군 13마리중 12마리에서 심실세동이 발생한 반면 STEA 음성군 10마리중 5마리에서 심실세동이 발생함으로써 STEA 양성군에서 유의한 증가가 있었다($p<0.025$) (Table 2).

심박동수는 관동맥 결찰시 STEA 양성군에서 평균 129.6 ± 17.2 회였으며 STEA 음성군에서는 133.3 ± 24.2 회였고 최대심박동수는 STEA 양성군에서는 147.1 ± 18.4 회, STEA 음성군에서는 151.9 ± 19.7 회였다.

ST 상승은 STEA 양성군에서 15.1 ± 4.5 mm, STEA 음성군에서 17.4 ± 8.5 mm였고 ST 넓이는 각각 264.4 ± 25.5 msec, 257.8 ± 33.1 msec였다. 좌심실압은 최저치가 STEA 양성군에서 75.7 ± 3.7 mmHg였고 STEA 음성군에서 81.0 ± 0.7 mmHg였다. 따라서 ST 상승, ST 넓이 및 좌심실압의 최저치는 양군사이에 차이가 없었다(Table 3).

관동맥 결찰후 STEA 발생은 평균 276.3 ± 123.6 초후부터 시작되었으며 지속시간은 평균 437.5 ± 254.0 초였고 종결시간은 748.1 ± 255.0 초후였다 (Table 4). STEA의 ST차이는 평균 4.5 ± 3.0 mm였다. 또 심실기외수축전후의 ST 변화중 심실기외수축 전 ST가 H형인 경우는 29.7%, ST가 L형인 경우는 70.3%였고, 심실기외수축전후 모두 L형인 경우가

Table 2. The relationship between the arrhythmia during the reperfusion of the left anterior descending coronary artery and ST-T electrical alternans

	N	Arrhythmia score*	VT**	VF***
STEA # positive	13	7.4 ± 1.7	100% (13/13)	92.3% (12/13)
STEA # negative	10	6.0 ± 2.4	100% (10/10)	50.0% (5/10)
		N-S	N-S	$P<0.025$
(Mean \pm SD)		**Ventricular tachycardia		
# ST-T electrical alternans		***Ventricular fibrillation		
*By means of the method which McLenna used ²⁸⁾		N-S : Not significant		

Table 3. The relationship between heart rate, ST elevation, LV pressure and STEA

		STEA positive (N=13)	STEA negative (N=10)
HR	Basal	129.6 ± 17.2	133.3 ± 24.2
	Maximal	147.1 ± 18.4	151.9 ± 19.7
ST elevation	ST height(mm)	15.1 ± 4.5	17.4 ± 8.5
	ST width(msec)	264.4 ± 25.5	257.8 ± 33.1
LV pressure	lowest(mmHg)	75.7 ± 3.7	81.0 ± 9.7
(Mean \pm SD)			

Table 4. STEA onset, STEA end and STEA duration from the occlusion of the left anterior descending coronary artery

STEA onset (sec)	STEA end (sec)	STEA duration (sec)
276.3 ± 123.6	748.1 ± 255.0	437.5 ± 254.0
(Mean \pm SD)		

Table 5. High & low type of ST segment before & after PVC

	H*(%)	L**(%)
Before	29.7	70.3
After	18.2	81.8

* High type of ST segment

** Low type of ST segment

가장 많았다(Table 5).

관동맥 결찰후 말기에 심실빈맥이 나타난 1례에서 심실빈맥동안 심의막심전도상 STEA가 나타났다가 재관류후 수초후 STEA는 소실되었고 재관류동안 나타난 심실빈맥시는 STEA가 나타나지 않았다(Fig. 2).

고 안

ST-T 혹은 QRS과의 교대맥은 임상적으로 드

물게 보는 현상이나¹⁻¹²⁾ 이러한 교대맥이 있을시 아직 정확한 기전은 설명되고 있지 않지만^{19,21,29,30)}, 심실부정맥의 빈도가 높게 나타난다는 보고가 있다²⁰⁻²³⁾. 이에 저자들은 실험동물을 통하여 ST-T절 전기적 상호교대맥이 있을 때 실질적으로 부정맥의 빈도가 높은지 또, 어떤 형태의 심실부정맥이 잘 나타나는지를 관찰하고자 하였다. Rozanski와 Kleinfeld가 이형협심증을 가진 93명의 환자를 대상으로 행한 실험²³⁾에서 30%에서 ST절에 변화가 나타났다고 한다. 동물실험에서는 그

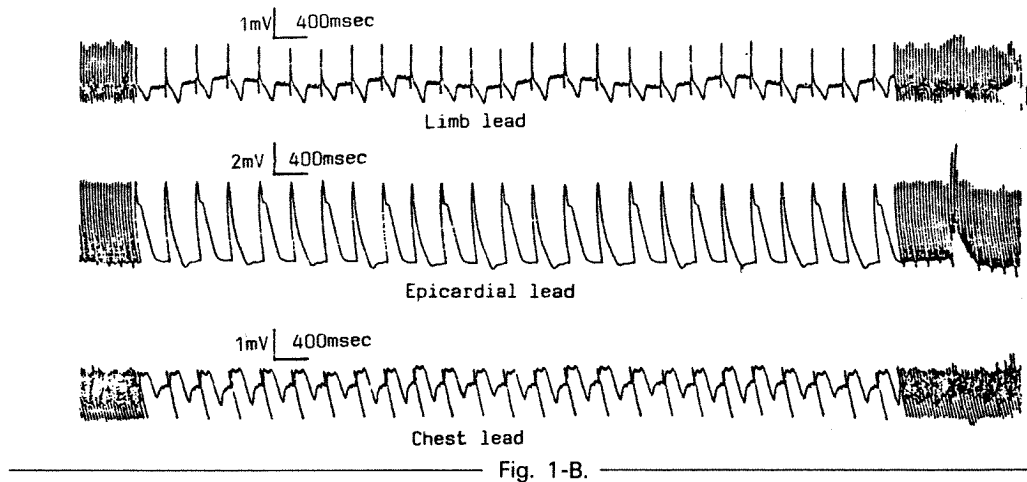
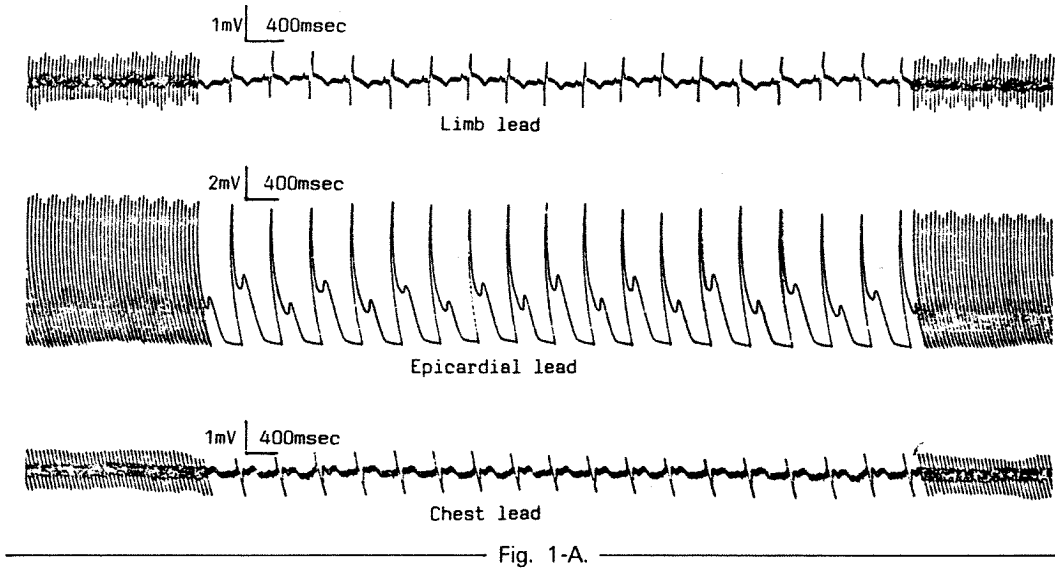


Fig. 1-A, B. The 2 different morphologies of the typical STEA(ST-T electrical alternans) are shown only in the epicardial lead. No STEA is seen in chest and limb leads.

STEА의 발생빈도가 높아 71~93% 까지 보고하고 있다^{18,31,32)}.

저자들의 실험에서는 23마리의 실험고양이중 13마리(56.5%)에서 STEA가 관찰되었다. 이렇게 동물실험에서보다 환자들에게서 STEA 보고가 낮은 것은 실질적인 빈도가 낮다기보다는 의사들의 관심이 적거나 심전도 판독방법 또는 피부 심전도의 측정한계 때문으로 보이며 환자들에서 STEA의

실질적인 빈도는 현재 보고된 빈도보다는 높을 것으로 보인다^{21,26,33)}고 하였다.

STEА가 생기는 기전으로는 첫째, 심근의 허혈 부위와 비허혈부위의 전도(conduction)과 전도불응기(refractoriness)의 변화에 의한 심근의 교대적인 탈분극 실패 둘째, 허혈동안 세포막을 통한 전해질의 이동 속도와 이동 정도의 변화에 의한 phase 2, 3동안의 transmembrane action potential의

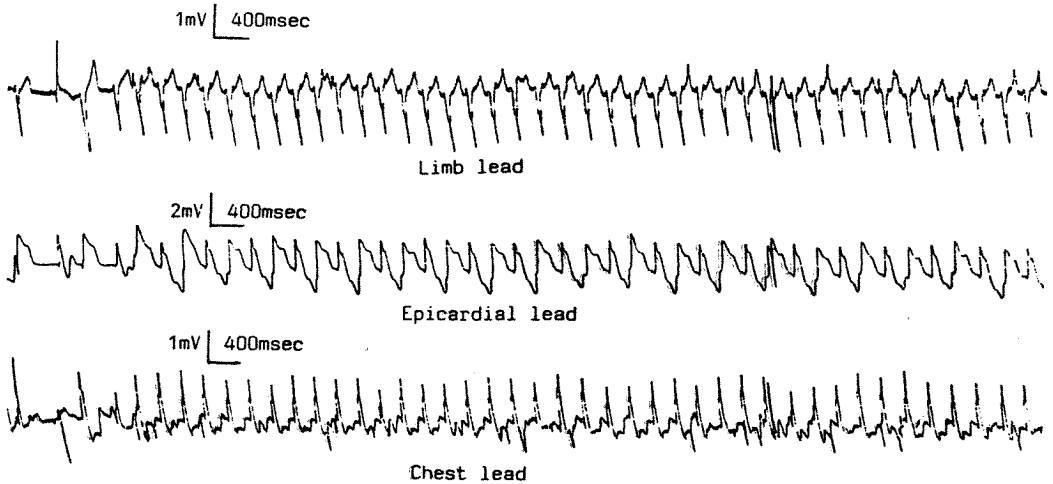


Fig. 2-1. The typical STEA with the ventricular tachycardia during the occlusion period. The 3 leads were recorded simultaneously. The limb lead and the chest lead show the ventricular tachycardia without STEA(ST-T electrical alternans), but the epicardial lead shows ventricular tachycardia with STEA (ST-T electrical alternans).

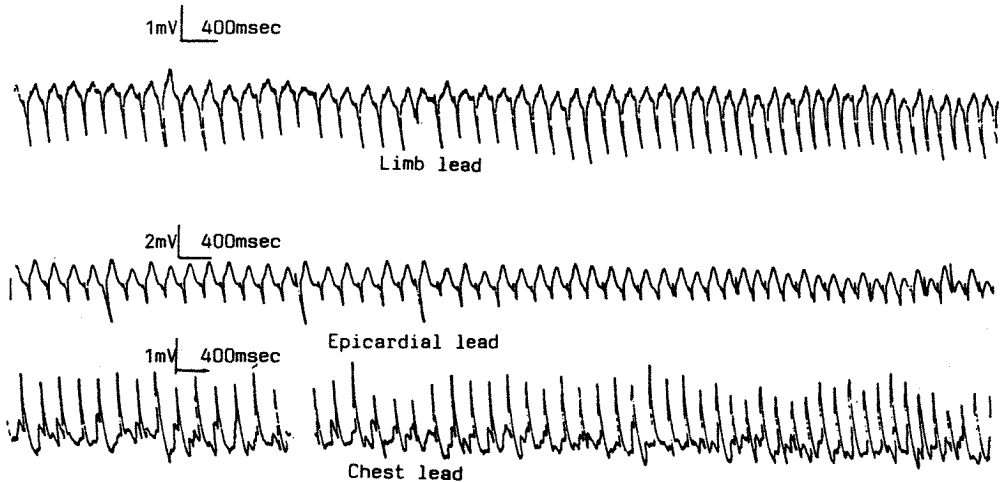


Fig. 2-2. The typical STEA, which was shown during the occlusion period(Fig. 2-1), disappeared during the reperfusion period, in spite of the ventricular tachycardia.

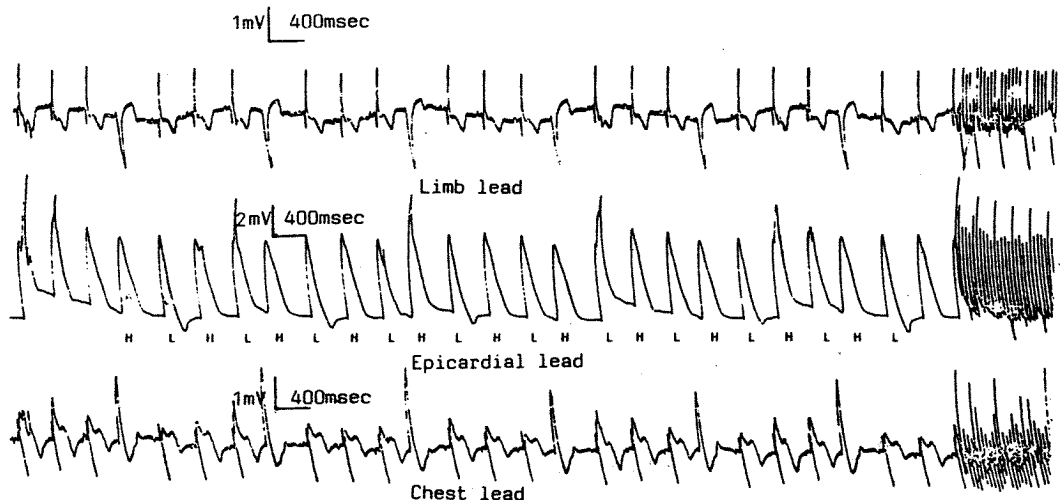


Fig. 3. The 3 leads were recorded simultaneously. The limb lead and the chest lead showed PVCs, but the epicardial lead didn't show them definitely. STEA(ST-T electrical alternans) appeared only in the epicardial lead. The epicardial lead was shown the low type(L) and the high type(H) of ST segment.

전기적 상호교대맥등으로 설명하고 있으나 자세한 기전은 알려져 있지 않다²¹⁾.

1988년 Joseph등³³⁾이 개를 이용한 STEA와 전기적 불안정성에 대한 실험에서 24마리중 13마리에서 STEA를 관찰하였고, 각각의 심실세동역치(ventricular fibrillation threshold; VFT)를 측정 한 결과 STEA 양성군에서 음성군보다 유의한 VFT의 증가가 있음을 보고하였다. 저자들의 실험에서는 허혈시 STEA 양성군에서 Curtis등²⁷⁾에 의한 부정맥 점수가 3.0 ± 0.7 로 STEA 음성군의 1.5 ± 1.4 에 비해 유의한 증가가 있고 심실빈맥의 빈도도 STEA 양성군에서는 100% (13/13)인데 비해 음성인 군에서는 50% (5/10)로 나타남으로서 허혈시 STEA 양성군에서 심실빈맥의 빈도가 높다는 것($p < 0.01$)을 알 수 있었고, 또 재관류시 STEA 양성군에서 92% (12/13), 음성군에서는 50% (5/10)에서 심실세동이 관찰됨으로써 재관류시 심실세동의 빈도가 증가됨($p < 0.025$)을 알 수 있었다.

STEА 양성일 때 잦은 심실부정맥이 발생하는 기전으로 Wiggers³⁴⁾와, Han³⁵⁾등에 의하면 허혈 동안 심근의 전도 불응(refractoriness)을 분산시킴으로써 탈분극 전기전파가 나누어져 결국 재진입부정맥(Reentry arrhythmia)을 잘 일으키기

때문이라는 설을 발표하였고, Hashimoto등³⁰⁾은 칼슘 길항제(calcium antagonist)가 허혈상태의 심근에 효과가 있다는 점에 착안하여 동물실험을 통하여 LAD 결찰동안 늦게 들어오는 칼슘 전류(slow inward calcium current)의 변화로 인해 STEA 및 부정맥의 빈도가 높다고 발표하였다. 그러나 여러 학자들의 연구에도 불구하고 아직 여기에 대한 정확한 기전은 알려져 있지 않다.^{16,36-39)}

STEAs는 심박수의 변화에 따라 그 빈도가 변한다고 하는데 심박동수가 빠를 때 STEA의 빈도가 높다고 한다¹³⁾. 그러나 본 실험에서는 STEA 양성군에서 심박동수가 평균 129.6 ± 17.2 였고 음성군에서는 133.3 ± 24.2 로 심박동수에 의한 STEA의 출현의 빈도는 높지 않았다.

ST-T절의 상승이 교대로 있을시 즉 H형과 L형으로 구분할 때 심실성부정맥의 발생 전후의 형태를 관찰하면 부정맥의 발생기전을 알아보는데 도움이 될 것으로 생각된다. Nagamoto등⁴⁰⁾의 연구에 의하면 개실험에서 허혈부의 심전도 및 단상활동 전위(monophasic action potential; MAP)를 동시에 기록한 결과 심전도상의 H형은 MAP기록상 small형과 심전도상 L형은 MAP기록상 large

형과 일치한다고 하였다. 또한, 심실성부정맥의 전에 나타나는 ST-T절의 변화는 MAP기록상 small형의 빈도는 26%, large형의 빈도는 56%, 감별 불가능한 형태가 18%로 large형이 많았으며, 이는 급성심근허혈 상태에서 허혈부에서 MAP의 활동 전위 기간(action potential duration)이 단축되어 건강부위의 MAP사이의 전위차가 생겨 건강부위로부터 허혈부로 수축기 손상전류가 흐르므로 심실성부정맥이 발생한다고 할 때 MAP기록상 large형이 오는 것이 타당하다고 하였다. 본 연구에서도 심전도상 L형이 70.3%로 H형보다 높았다. 하지만 Janse등⁴¹⁾은 허혈부심근의 조기흥분은 재분극후 전도 불응(postrepolarization refractoriness)으로 인해 발생하기 곤란하다고 하였으므로 상기 MAP기록상 large형의 설명이 어렵다. 심실성부정맥의 후에 출현하는 ST-T절 형태는 본 연구에서는 심전도상 L형이 81.8%로 대부분이었다. 이는 심실기의수축이 일어난 후 동성조율이 나타나기전 대상 휴지기(compensatory pause)가 충분하여 심전도상 L형인 MAP기록상 large형이 출현하기 쉬운 것으로 사료된다. 하지만 심전도상 H형과 L형의 감별은 유도(lead)에 따라 차이가 있어 반대로 나타날 수도 있으며, 상기 기술한 여러가지 설명에 보완이 필요하리라 사료된다.

결론적으로 저자는 본 실험을 통하여 STEA 발현시 허혈시는 심실빈맥이, 재관류시는 심실세동의 빈도가 높음을 확인할 수 있었고, 부정맥의 점수 역시 STEA 양성군에서 유의한 증가가 있음을 확인함으로써 관동맥의 결찰과 같은 기전으로 발생하거나 또는 비교적 흔히 볼 수 있는 이형협심증과 급성심근경색시 심전도검사상 STEA가 나타날때 심실부정맥의 발생에 대한 예방 및 예후를 판단하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

심근허혈시 심전도상 ST-T절 전기적 상호교대맥이 있는 경우 심실성 부정맥이 발생빈도와 양상을 알아 보고자, 23마리의 건강한 고양이에서 좌전하행관동맥을 20분간 결찰하여 국소 심근허

혈을 유도한 후 재관류시켜 이때 발생하는 심전도상 ST-T절 전기적 상호교대맥과 심실성 부정맥을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

LAD 결찰후 23마리 고양이중 13마리에서(56.5%) STEA가 발견되었으며 STEA 양성군에서 허혈시 부정맥 점수가 STEA 음성군에 비하여 유의하게 높았고($p<0.005$), 심실빈맥의 빈도도 뚜렷이 높았다($p<0.025$).

재관류시는 STEA 양성군이 STEA 음성군보다 부정맥 점수가 높았으나 통계적 유의성은 없었다. 심실세동의 발생빈도는 유의하게 높았다($p<0.025$).

심박동수, 좌심실압과 ST 상승 및 ST 넓이는 STEA 양성군과 음성군 사이에 차이가 없었다.

심실기의수축 전후의 ST절의 형태는 L형이 많이 관찰되었다.

이상의 결과를 통하여 STEA 발현시 허혈시는 심실빈맥이 재관류시는 심실세동의 빈도가 높음을 확인할 수 있었고, 부정맥 점수 역시 STEA 양성군에서 유의한 증가가 있음을 알 수 있었다. 따라서, 심전도상 STEA가 관찰될 때 이것을 심실 부정맥의 발생 가능성을 판단하는 하나의 지표로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- 1) McGregor M, Baskind E : *Electrical alternans in pericardial effusion. Circulation* 11 : 837-847, 1955
- 2) Kleinfeld M, Stein E, Kossmann CE : *electrical alternans with emphasis on recent observations made by means of cell electrical recording. Am Heart J* 65 : 495-500, 1963
- 3) Lawrence T, Cronin JF : *Electrical alternans and pericardial tamponade. Arch Intern Med* 112 : 415-418, 1963
- 4) Costeas FX, Poullos G, Louvros N, et al : *Acoustic, mechanical and electric alternans in hemopericardium of occult systemic origin. Chest* 60 : 460-463, 1971
- 5) Spodick DH : *Electrical alternans of the heart, its relation the kinetics and physiology of the heart du-*

- ring cardiac tamponade. *Am J Cardiol* 10 : 155-165, 1962
- 6) Usher BW, Popp RL : *Electrical alternans : Mechanism in pericardial effusion*. *Am Heart J* 83 : 459-463, 1972
 - 7) Colvin J : *Electrical alternans : Case report and comment the literature*. *Am Heart J* 55 : 513-517, 1958
 - 8) Littman D : *Alternation of the heart*. *Circulation* 27 : 28-30, 1963
 - 9) Ellis CH : *Coexisting mechanical and electrical alternation drug-induced pulsus alternans in dogs*. *Am J Physiol* 198 : 327-332, 1960
 - 10) Kisch B : *Auricular alternation after propyl-thiou-racil*. *Med Surg* 7 : 173-176
 - 11) Bernreiter M : *Unusual electrocardiographic findings in cardiac amyloidosis*. *JAMA* 161 : 441, 1956
 - 12) Hellerstein HK, Liebow IN : *Electrical alternation in experimental coronary artery occlusion*. *Am J Physiol* 160 : 336, 1950
 - 13) Fisch C, Edmands RE, Greenspan K : *T wave alternans association with abrupt rate change*. *Am Heart J* 81 : 817-820, 1971
 - 14) Chung EK : *Electrical alternans in principle of cardiac arrhythmia*. Baltimore. The Williams and Wilkins Co p385-395, 1971
 - 15) Fisch C, Edmand RE, Greenspan K : *The effect of chrom in cycle length on the ventricular action potential in man*. *J Cardiol* 21 : 525-529, 1968
 - 16) Roselle HA, Crampton RS, Case RB : *Alternans of the depressed ST-T segment during coronary insufficiency*. *Am J Cardiol* 18 : 200, 1966
 - 17) Downar E, Janse MJ, Durrer D : *The effect of acute coronary artery occlusion on subepicardial transmembrane potentials in the intact porcine heart*. *Circulation* 55 : 455, 1977
 - 18) Downar E, Janse MJ, Durrer D : *The effect of acute coronary artery occlusion on subepicardial transmembrane potentials in the intact porcine heart*. *Circulation* 56 : 217, 1977
 - 19) Nakashima M, Hashimoto H, Kanamaru M, Nagaya H, Hashizume M, Oishi H : *Experimental study and clinical report on the electrical alternans of ST segment during myocardial ischemia*. *Jpn Heart J* 19 : 396, 1978
 - 20) Willams RR, Wagner GS, Peter RH : *ST segment alternans in Prinzmetal's angina : A report of two cases*. *Ann Intern Med* 81 : 51-54, 1974
 - 21) Kleinfeld MJ, Rozanski JJ : *Alternans of the ST segment in Prinzmetal's angina*. *Circulation* 55 : 574-577, 1977
 - 22) Rozanski JJ, Meller J, Kleinfeld M, Castellanos A, Kupersmith J : *Nonmechanical ST segment alternans in Prinzmetal's angina*. *Ann Intern Med* 89 : 76-77, 1978
 - 23) Rozanski JJ, Kleinfeld M : *Alternans of the ST segment and T : A sign of electrical instability in Prinzmetal's angina*. *PACE* 5 : 359-365, 1982
 - 24) Levine HD, Wanzer SM, Merrill JP : *Dialyzable currents of injury in potassium intoxication resembling acute myocardial infarction or pericarditis*. *Circulation* 13 : 29, 1956
 - 25) Rosen IL : *ECG of the month*. *Current Med Dialogue* Mar p370, 1966
 - 26) Turitto G, El-sheirif N : *Alternans of the ST segment in variant angina*. *Chest* 93(3) : 587-591, 1988
 - 27) Curtis MJ, Mcleod BA, Walker MJA : *Models for the study of arrhythmias in myocardial ischemia and infarction : the use of the study*. *J Moll Cell Cardiol* 19 : 339-419, 1987
 - 28) McLenna DJ, Abeywardena MY, Charnock JS : *Dietary fish oil prevents ventricular fibrillation following coronary artery occlusion and reperfusion*. *Am Heart J* 116 : 709-717, 1988
 - 29) Kleinfeld M, Stein E : *Electrical alternans of components of action potential*. *Am Heart J* 75 : 528, 1968
 - 30) Kotooka K, Nakao H, Yoshimura R : *Clinical and experimental studies on electrical alternans of ST segment and T wave in variant form of angina pectoris*. *Respir Circ* 27 : 767, 1979

- 31) Kleber AG, Janse MJ, Van Capelle FJL, Durrer D : *Mechanism and time course of ST and TQ segment changes during acute regional myocardial ischemia in the pig heart determined by extracellular and intracellular recording.* *Circ Res* 42 : 603-13, 1978
- 32) Hashimoto H, Suzuki K, Miyake S, and Nakashima M : *Effect of calcium antagonist on the electrical alternans of the ST segment and on associated mechanical alternans during acute coronary occlusion in dogs.* *Circulation* 68 : 667-672, 1983
- 33) Smith JM, Clancy EA, Valeri R, Ruskin JN, and Cohen RJ : *Electrical alternans and cardiac electrical instability.* *Circulation* 77 : 110-121, 1988
- 34) Wiggers CJ : *The mechanism and nature of ventricular fibrillation.* *Am Heart J* 20 : 399, 1940
- 35) Han J : *Mechanism of ventricular arrhythmias associated with myocardial infarction.* *Am J Cardiol* 23 : 800, 1969
- 36) Lu HH, Lange G, Brooks C : *Comparative studies of electrical and mechanical alternans in heart cells.* *J Electrocardiol* 1 : 7, 1968
- 37) Gleason WL, Braunwald E : *Studies on Starling's law of the heart. VI. Relationship between left ventricular end-diastolic volume and stroke volume in man with observation on the mechanism of pulsus alternans.* *Circulation* 25 : 841, 1962
- 38) Gilbert JL, Janse MJ, Lu HH, Pinkston JO, and Brooks C : *Production and abolition of alternation in mechanical action of the ventricle.* *Am J Physiol* 209 : 945, 1965
- 39) Dessier KB, Benchimol A : *Phasic left ventricular blood velocity alternans in man.* *Am J Cardiol* 36 : 309, 1975
- 40) Nagamoto Y, Abe S, Hayakawa T, Fujita S, Fukushima Y, Ninomiya K, and Kuroiwa A : *Relationship between electrical alternans of ST-T segment elevation and ventricular arrhythmia during episodes of variant angina and during acute myocardial ischemia in dogs.* *Heart(Japan)* 18 : 875-887, 1986
- 41) Janse MJ, VanCapelle FJL, Morshink H, Kleber AG, Wilms-Schopman F, cardinal R, d'Almoncourt CN, and Durrer D : *Flow of 'Injury' current and patterns of excitation during early ventricular arrhythmias in acute regional myocardial ischemia in isolated porcine and canine hearts : evidence for two different arrhythmogenic mechanism.* *Circ Res* 47 : 151, 1980