가토의 급성실혈 시에 보는 Electromechanical Dissociation*

가톨릭대학 의학부 마취과학교실

최 장 식 · 최 주 영

= Abstract =

Electromechanical Dissociation during Exsanguinating Hemorrhage on Rabbits

Jang Sik Choi, M.D. and Joo Young Choi, M.D.

Department of Anesthesiology, Catholic Medical College, Seoul, Korea

Cardiac electromechanical dissociation is a cause of cardiac arrest and this is characterized by regularly recurring QRS complexes and T waves—P waves may even be present without an obtainable blood pressure and pulse. Such findings in man are almost invariably associated with a fatal outcome although one can observe this phenomenon in potentially treatable disorders. Recognition of these disorders on the basis of certain clinical and electrocardiographic findings may be of clinical importance.

This experimental study on rabbits was performed to observe electromechanical dissociation (E.M.D.) and to recognize its clinical importance, in exsanguinating hemorrhage with the cutting of the right femoral artery.

The results were as follows:

- 1) The incidence of E.M.D. was 100 percent.
- 2) In the all cases except two cardiac rhythm showed sinus rhythm but in two cases it was difficult to distinguish it from nodal rhythm.
- 3) Heart rate at the time of E.M.D showed a significant increase of 13.8 percent as compared with the control.
- 4) The voltage of the P wave and QRS complex at the time of E.M.D. showed a significant decreases of the former, 34.7%, and the latter, 30%, as compared with the control and the QRS complex at the time of E.M.D showed severe axis deviation.
- 5) In seven cases in all, the voltage of the T wave at the time of E.M.D. showed a significant decrease of 61.3 percent (one case showed T wave inversion) and the others showed conversely a significant increase of 271 percent.
- 6) Regarding change of interval, the QRS interval showed no changes and P-R and Q-T intervals showed shortening of 14.7% and 2.4%.
- 7) We consider that devices for heart sound, pulse or blood pressure monitoring should be combined with ECG monitoring.

*본 논문은 1979년도 가톨릭 중앙의료원 연구 보조비로써 이루어졌음.

서 론

Electromechanical dissociation (EMD)이란 어떤 원인에 의해 혈압이나 맥박이 없어졌음에도 불구하고 심전도에서는 규칙적으로 전기적 활동을 나타내는 현상을 말한다¹⁾. 실제로 이러한 대부분의 경우에 심장에 대한 광범위하고 비가역적인 손상을 초래하고 치명적인 결과를 가져온다. 그러나 EMD에 대한 재빠른 인식과 적절한 치료로 좋은 결과를 초래할 수도 있다고 한다²⁾. 근래에 임상에서 심전도 monitoring의 이용도가 증가함에 따라 EMD의 인식을 새롭게 하고 또 이에 대한 지견을 넓히고자 실험적으로 가토에서 급성 실험을 시켰을 때 나타나는 EMD를 관찰하여 이를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

실험 동물은 암수 구별없이 체중 2.5 kg 내외의 백색가토 12마리를 사용하였다. 모든 동물은 실험대 위에 양와위로 하고 사지를 묶어 고정하였다. 좌측 대퇴부에 국소마취제 (0.5% lidocaine 용액)을 소량 피하주사한 후 수술용 칼로 피부를 절개하여 좌측 고동맥을 노출시키고 18 Gauge, 6.5 cm의 정맥주사용 플라스틱 카테테루를 고동맥에 삽입하고 three way stopcock을 연결한 다음, 다시 여기에 heparin을 희석한 식염수액으로 채운 vinyl관을 통하여 수은주식 혈압기에 연결하였으며 혈압기의 높이는 심장 위치에 맞추었다. 오른쪽 고동맥도 전자와 같은 방법으로 노출시켜 놓았다. 심전도를 묘기하기 위해서 cardiac console (Air Shields)을 사용했으며 사지에 침상전극 (needle electrode)을 연결하고 제 Ⅲ 유도법으로 묘기하였다. 이상과 같은 조작이 끝난 뒤 약 15분 가량 동물이 안정되기를 기다린 뒤에 혈압을 측정 한 것과 심전도를 묘기한 것을 대조치로 하였다.

그 뒤 노출된 우측 고동맥을 가위로 절단하여 급성 실험을 시킴과 동시에 심전도 묘기를 계속하여 혈압의 하강에 따른 변화를 관찰하였다.

성 적

실험한 가토의 대조치 평균혈압을 $108.4 \pm 8.65 \text{ mmHg}$ 이었다. 고동맥 절단에 의한 급성 실험으로 혈압이 대조치의 반으로 될 때까지의 시간을 평균 27.1 ± 11.77 초

Table 1. Heart Rate Changes with Acute Blood Loss in Rabbits

Animal No.	Control	50% fall of B.P.	E.M.D.	3minutes after E.M.D.
1	240	260	270	40
2	240	290	300	140
3	240	260	260	100
4	250	300	300	80
5	260	300	300	180
6	260	300	260	60
7	180	300	260	180
8	200	260	240	120
9	250	280	270	72
10	260	300	280	200
11	180	220	216	100
12	300	310	300	120
Mean	238.3	281.7	271.3	116
±S.D.	±35.38	±26.57	±26.62	±50.91
(%)		(+18.2)*	(+13.8)*	(-51.3)*

* $p < 0.01$ E.M.D.: Electromechanical dissociation

이었고 EMD까지의 시간은 87.5 ± 32.51 초이었다. 또 EMD는 실험한 모든 동물에서 나타났다. 급성 실험에 의한 혈압의 감소에 따르는 맥박수의 변화를 심전도에서 계산하여 표 1에 실었다. 대조치에서의 분당 평균 맥박수는 238.3 ± 35.38 회이었고 혈압이 대조치의 반으로 감소되었을 때는 평균맥박수가 281.7 ± 26.57 회로써 대조치보다 18.2%의 가장 높은 유의한 증가를 보였다 ($p < 0.01$). EMD에서는 맥박수가 271.3 ± 26.62 로써 대조치보다 13.8%의 유의한 증가를 보였다 ($p < 0.01$). 이 이후 차츰 맥박수는 감소하여 EMD 출현후 3분경에서는 평균 맥박수가 116 ± 50.91 로써 대조치보다 51.3%의 유의한 감소를 보였다 ($p < 0.01$). 몇몇에서 대조치때와 EMD때의 심전도 묘기를 그림 1, 2 및 3에 각각 실었다. 그리고 EMD때의 심전도상의 변화를 표 2 및 3에 각각 실었다. EMD때의 심전도상의 변화를 보면 2예에서는 P wave를 볼 수 없었으며 나머지 모든 예에서는 동물동 (sinus rhythm)을 보였다.

1) Voltage의 변화

P wave voltage에서는 대조치에서 평균값이 $0.72 \pm 0.22 \text{ mm}$ 이었고 EMD에서는 $0.47 \pm 0.14 \text{ mm}$ 로써 대조치보다 34.7%의 유의한 감소를 보였다 ($p < 0.01$). Total QRS complex voltage는 대조치에서 평균값이 $5.0 \pm 1.41 \text{ mm}$ 이었고 EMD에서는 $3.5 \pm 1.21 \text{ mm}$ 로써 대조치보다 30%의 유의한 감소를 보였다 ($p < 0.01$).

Table 2. E.C.G. Analysis:
Interval Changes during E.M.D.

Interval (sec.)		Mean±S.D. (%)
P-R	Control	0.068±0.0087
	E.M.D.	0.058±0.0092 (-14.7)*
QRS	Control	0.041±0.0067
	E.M.D.	0.041±0.0067(0)
Q-T	Control	0.166±0.026
	E.M.D.	0.162±0.019 (-2.4)

*p<0.01 E.M.D.: Electromechanical dissociation

Fig. 1. Electrocardiographic findings.

A: control B: E.M.D.
C: 3.5 minutes after onset of E.M.D.

Table 3. E.C.G. Analysis: Voltage Changes
during E.M.D.

Voltage (mm.)		Mean±S.D. (%)
P wave	Control	0.72±0.22
	E.M.D.	0.47±0.14 (-34.7)**
QRS complex	Control	5.0±1.41
	E.M.D.	3.5±1.21 (-30)**
QRS complex	Control	R 3.9±1.28
		S 1.1±0.53
	E.M.D.	R 1.3±0.96(-66.7)**
		S 2.17±1.29(+97.3)*
T wave ↑	Control	0.6±0.22
	E.M.D.	1.9±0.65(+271)**
T wave ↓	Control	1.5±0.77
	E.M.D.	0.58±0.20(-61.3)**

*p<0.05 T wave ↑ : Increase of T wave voltage

**p<0.01 T wave ↓ : Decrease of T wave voltage
E.M.D.: Electromechanical dissociation

Fig. 2. Electrocardiographic findings.

A: control B: E.M.D.
C: 4 minutes after onset of E.M.D.

Fig. 3. Electrocardiographic findings.

A: control B: E.M.D.
C: 3.5 minutes after onset of E.M.D.

Total QRS complex에서 R wave와 S wave의 voltage 변화를 보면 대조치에서 R wave는 3.9 ± 1.28 mm 이었고 EMD에서는 1.3 ± 0.96 mm 로써 대조치보다 66.7%의 유의한 감소를 보였으며 ($p < 0.01$), S wave는 대조치에서 1.1 ± 0.53 mm 이었고 EMD에서는 2.17 ± 1.29 mm 로써 대조치보다 97.3%의 유의한 증가를 보였다 ($p < 0.05$). T wave voltage의 변화는 5예에서는 대조치보다 voltage의 증가를 보이며 7예에서는 voltage의 감소를 보인다. 이중 1예는 T wave inversion을 보였다. Voltage가 증가된 경우의 대조치 평균값은 0.6 ± 0.22 mm 이었고 EMD에서는 1.9 ± 0.65 mm 로써 대조치보다 평균 217%의 유의한 증가를

보였으며 ($p < 0.01$) voltage가 감소된 경우는 대조치에서 1.5 ± 0.77 mm 이었고 EMD에서는 0.58 ± 0.2 mm 로써 평균 62.5%의 유의한 감소를 보였다 ($p < 0.01$). T wave가 inversion된 1예에서는 대조치에서 0.5 mm 이었고 EMD에서는 -1.5 mm 이었다.

2) Interval의 변화

P-R interval은 대조치에서 0.068 ± 0.0087 초이었고 EMD에서는 0.058 ± 0.0092 초로써 대조치보다 14.7%의 유의한 단축을 보였다 ($p < 0.01$). QRS interval은 대조치와 EMD에서 변동이 없었다. Q-T interval은 대조치에서 0.166 ± 0.026 초이었고 EMD에서는 0.162 ± 0.019 초로써 대조치에 비해 2.4%의 감소를 보였으며 이 값은 통계적으로 유의하지 않았다.

고 안

Dissmann 등(1967)은 급성 심경색 환자의 심장 파열시에 갑작스러운 의식소실과 무호흡 그리고 동맥에서의 맥박소실 등이 있는데도 심전도상에서는 이 이후 2 내지 3분간의 지속적인 원래의 심장리듬(original cardiac rhythm)이 있었으며 그 후 idioventricular rhythm과 asystole이 나타났다고 했다³⁾. Friedmann 등(1971)은 급성 심근경색 환자에서 심장파열시에 뚜렷한 기계적 활동(mechanical activity)이 없는데도 심전도상에는 지속적인 활동을 나타내는 이러한 현상을 electromechanical dissociation (EMD)이라 했다⁴⁾. Friedmann(1974)들은 다시 EMD를 유효한 혈압이 더이상 기록되지 않을 때 지속적인 전기적 활동을 보이는 현상이라 했다⁵⁾. Friedmann(1976)은 다시 EMD를 유효한 심박출이 멎었을 때 적절한 electrocardiographic complex가 기록되어지는 현상이라고 했다²⁾. Goldberger(1977)는 혈압이나 맥박이 없어졌을 때 규칙적으로 QRS complex와 T wave(P wave가 있을지도 모름)가 나타나는 것을 특징으로하는 현상을 EMD(profound cardiovascular collapse)라고 했다¹⁾. 이러한 EMD를 일으킬 수 있는 혈액학적인 변화는 크게 세가지로 분류할 수 있다. 첫째는 감소된 preload이며 여기에는 빈맥과 정맥압의 감소를 동반하는 급성심실혈과, 서맥과 정맥압의 상승을 동반하는 급성심 tamponade 등이 있다. 둘째는 급성유출폐쇄(acute outflow obstruction)이며 여기에는 빈맥과 정맥압의 상승을 동반하는 심한 폐전색과 폐동맥 혹은 대동맥협착증을 들 수 있다. 셋째는 pump failure이며 여기에는 빈맥 혹은 서맥과 정맥압의 상승을 동반하는 급성

심정색이나 cardiomyopathy 등이 포함된다.

수술환자에서 급성심혈을 보이는 경우는 적지 않다. 그러나 이때 볼 수 있는 EMD에 관한 관찰은 절반이 이루어지지 않은 것 같다. 혈압이나 맥박이 없어졌을 때 ECG만으로 환자를 감시하고 있을 경우 EMD에 관한 지견이 없다면 소생시킬 수 있는 귀중한 시기를 놓치는 것이 된다. 본 실험은 가토에서 급성심혈을 일으킨 경우이며, 수축기 혈압이 대조치의 반으로 될때까지의 시간은 평균 27초로써 이때 맥박수는 대조치보다 18%가량 증가하였다. 이 맥박수의 증가는 교감신경계의 흥분을 동반하는 반사기전으로 생각할 수 있다. 출혈이 계속되어 평균 1분 30초가 되기 전에 혈압은 없어졌으며 맥박도 소실한 것을 볼 수 있었다. 이때 ECG에 나타난 맥박수의 변화는 대조치보다 평균 13.8%의 증가를 보였다. 이와같은 EMD가 2 내지 3분간 지속한 뒤에는 급격히 QRS complex가 나타나는 횟수가 느려졌다(그림 1, 2, 3-c). 더욱 시간이 경과함에 따라 nodal rhythm과 심한 A-V block이 나타난 다음 약 60분이 경과할 무렵에는 sinus activity만을 가끔 볼 수 있었다. Parker 등(1970)⁶⁾은 ischemic heart disease를 갖는 사람과 갖지않는 사람들의 두군에서 전기적인 방법으로 빈맥을 이르렀을 경우에 관상정맥의 카리움치가 동맥혈에서 보다 높게 나타났고 다시 정상맥박수를 갖게 할 경우 반대로 관상정맥의 카리움치가 동맥혈에서보다 낮게 나타나는 것을 관찰하고 빈맥으로 심근세포내의 카리움이 유리되고 또 서맥으로 회복되었을 때는 심근내로 카리움이 유입되는 것으로 평가했다. 또 이런 현상은 ischemic heart disease를 갖는 군에서 더욱 뚜렷하게 나타났으며 빈맥으로 인한 카리움의 상실이 혈중 lactate의 증가와 밀접한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 이와같은 사실은 여러가지 생체조직에서 카리움 평형에 산소가 중요한 역할을 한다는 것을 시사하고 있다^{7,8)}. 본 실험에서 볼 수 있는 EMD는 이미 적절한 심박출량을 기대할 수 없는 상태이며 심근의 전기적인 활동은 산소의 공급이 없는 상태에서 이루어지고 있는 것으로 이 때의 ECG는 전형적인 hypoxia pattern을 보이는 것으로 볼 수 있다. 특징적인 변화는 QRS complex가 30%감소되고 P wave가 작아졌으며(34.7%) (표 3) S-T segment의 상승 및 T wave의 변화를 들 수 있다. Hochrein 등⁹⁾(1962)은 지속적인 빈맥이나 hypoxia 기타 digitalis 중독 또는 volume 및 pressure overload에 의한 모든 형태의 cardiac insufficiency에서 심근내의 카리움이 유출되는 것을 실험적으로 관찰했으며 만일 30%에 달하

는 카리움이 유출되었다면 같은 비율의 sodium 이 세포내에 증가하며 creatine phosphate나 ATP의 함량이 50% 감소하는 것으로 나타났다. 세포의 중요한 energy source는 high energy phosphates, 특히 phosphocreatine이 많고 있는데 이 energy 대사에 카리움이 phosphorylation의 촉매작용을 하고 있으므로 hypoxia, intoxication, digitalis intoxication, stress 및 칼슘결핍 등이 있는 경우 이 phosphorylation이 장애를 입으면 cation의 active transport가 장애되어 세포내의 카리움은 감소하고 반대로 sodium은 축적되게 된다¹⁰⁾. 이와같이 세포내의 카리움이온과 세포외의 카리움이온의 비율이 30:1을 유지하지 못할 경우 세포막의 diffusion potential이 떨어져서 resting membrane potential이 감소하고 따라서 excitability가 낮아지고 action potential에서의 overshoot이 작아짐으로써 conductivity가 떨어진다고 한다. 즉 세포내액의 카리움이 세포외액의 카리움에 비해 비교적 감소한 상태는 일종의 hyperkalemia 상태에 있게 되는 것이고 또한 세포내액에 축적된 sodium으로 인해서 hyponatremia 상태에 있게 된다. 이상과같은 특징을 갖는 hypoxia 상태에서의 ECG는 sodium의 influx에 관계되는 QRS의 voltage가 낮아지고 interval은 길어지는 것으로 나타나는데 급성실혈에 의한 EMD에서는 voltage는 낮아졌으나 QRS의 interval은 대조치와 별 변동이 없는 것으로 나타났다(표 2). 이것으로 보아서 conductivity는 유지되고 있는 것으로 보이며 EMD출현후 3분경에서부터는 약간씩 interval이 길어지는 것을 볼 수 있었다(그림 1, 2, 3-C). 또한 EMD시의 QRS complex의 R wave와 S wave의 voltage변화를 보면 대조치에서는 R wave가 S wave보다 3.5배 가량 큰데 비해 EMD시에는 S wave가 R wave보다 2배 가량 더 크게 나타난다. 이러한 변화는 급성 실혈에 따른 심장자체의 axis deviation으로 생각되나 본 실험에서는 한 유도법(lead III)만으로 표기되었기 때문에 deviation의 방향은 잘 알 수 없었다. S-T segment는 ion의 변화에 민감하여 ECG상에서 isoelectric line을 유지하지 못하는 것으로 나타난다. EMD에서는 대부분에서 약간의 S-T segment의 상승을 볼 수 있었다(그림 1, 2, 3-B). 카리움의 diffusion에 관계되는 T wave는 비교적 빠른 재분극으로해서 높은 T wave를 보이는 것으로 되어 있다. EMD에서는 T wave가 커진 것이 5례이었으며 7례에서는 감소되어 나타났으며 이중 1례에서는 inversion으로 나타났다(표 3). 이 T wave의 변화는 일률적으

로 말 할 수 없으며 또한 한 유도법(Lead III)만으로 표기한 ECG에서는 간단히 설명이 어렵다. SA node는 교감신경의 분포가 풍부하여 hypoxia에 의한 병변에서 catecholamine의 존재하에서 상당히 오랜 동안 automacity를 유지할 수 있는 것으로 되어있으며 실제로 EMD 및 그후 오랜 시간 동안 sinus activity를 관찰할 수 있었다. Interval의 변화에서는 EMD에서 일반적인 P-R, Q-T interval의 단축을 보인다. 이는 맥박수의 증가와 병행되는 것으로 생각되며 EMD출현후 3분 경에서의 interval의 지연은 irreversible hypoxic degeneration으로 이행되는 것으로 생각되었다.

결 론

- 1) EMD의 발현빈도는 100%였다.
- 2) EMD때의 심장 rhythm은 2예를 제외한 모든 예에서 sinus rhythm이었다. 2예에서는 nodal rhythm과의 구별이 어려웠다.
- 3) EMD때의 심박수는 대조치보다 13.8%의 증가를 보였다.
- 4) EMD때의 P wave 및 total QRS complex voltage는 대조치에 비해 각각 34.7 및 30%의 감소를 보였다. 또한 심한 axis deviation을 보였다.
- 5) EMD때의 T wave voltage는 7예에서는 대조치보다 평균 61.3%의 감소를 보이며 이중 1예에서는 T wave inversion을 보였다. 5예에서는 반대로 271%의 증가를 보였다.
- 6) EMD때의 interval의 변화는 QRS interval은 변화가 없었으며 P-R 및 Q-T interval은 대조치에 비해 각각 14.7 및 2.4%의 단축을 보였다.
- 7) 이상과같은 EMD의 관찰로 ECG monitoring 시에는 심음, 맥박 또는 혈압을 동시에 monitoring 할 수 있는 장비가 병행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Goldberger E: *Treatment of cardiac emergencies*. 2nd ed. Saint Louis, C. V. Mosby Company, 1977, p. 13
- 2) Friedman HS: *Diagnostic considerations in electromechanical dissociation*. *Am J Cardiol* 38: 268, 1976
- 3) Dissmann W, Schüren KP, Buschmann HJ, et

- al: *Die Klinische Diagnose der Herzruptur. Z. Kreislaufforschung* 56:1067-1075, 1967
 - 4) Friedman HS, Kuhn LA, Katz AM: *Clinical and electrocardiograph features of cardiac rupture following acute myocardial infarction. Am J Med* 50:709-720, 1971
 - 5) Friedman HS, Gomes JA, Tardio AR, et al: *The electrocardiographic features of acute cardiac tamponade. Circulation* 50:260-265, 1974
 - 6) Parker JO, Chiong MA, West RO, et al: *The effect of ischemia and alterations of heart rate on myocardial potassium balance in man. Circulation* 13:205-217, 1970
 - 7) Gollan F, Rudolph GG, Olsen NS: *Electrolyte transfer during hypodermia and anoxia in dogs. Am J Physiol* 189:277, 1957
 - 8) Conn HL: *Effects of digitalis and hypoxia on potassium transfer and distribution in the dog heart. Am J Physiol* 184:548, 1956
 - 9) Hochrein H, Najano M, Wollheim E: *Intracellular myocardial energy, enzyme and electrolyte metabolism in experimental heart failure. Mem 4th Congr Mund Cardiol* 5:230, 1962
 - 10) Bajusz E: *Electrolytes and cardiovascular diseases. vol 2 Baltimore, The Williams & Wilkins Company, 1966, p. 74*
-