

혈중 심근효소로 분석한 고주파도자절제에 의한 심근손상의 정도*

계명대학교 의과대학 내과학교실

김윤년 · 한성욱 · 허승호 · 김기식 · 김권배

= Abstract =

Evaluation of Myocardial Injury after Radiofrequency Catheter Ablation for Supraventricular Tachycardia by Means of Measurement of Myocardial Enzyme

Yoon Nyun Kim M.D., Seong Wook Han M.D., Seung Ho Huh M.D.,
Kee Sik Kim M.D., Kwon Bae Kim M.D.

Department of Internal Medicine, Keimyung University, School of Medicine, Taegu, Korea

Objectives : Radiofrequency(RF) ablation is an effective and low risk curative treatment for supraventricular arrhythmias. Catheter ablation produced cardiac lesions primarily through formation of coagulation necrosis. We evaluated the degree of myocardial injury after RF catheter ablation by means of serial measurement of myocardial enzyme

Methods : Fifty-one patients with symptomatic supraventricular tachycardia were included. There were 32 men and 19 women(mean age. 39.2 ± 15.4 years) All patients underwent electrophysiologic study to detect accessory pathway and ablation with radiofrequency current. A mean of 18.3 ± 14.2 radiofrequency pulses were delivered. The pulses were at a power of 50 to 60 Volts for a duration of 20 to 30 seconds. Unipolar method and a 6F or 7F catheter with a 4 mm tip electrode was used. LDH, CPK and CK-MB as a kind of cardiac enzyme were measured before and after ablation.

Results :

- 1) The concentration of LDH and CPK were elevated at 8hours and 16hours after ablation ($p < 0.05$).
- 2) The concentration of CK-MB was elevated at 8hours, 16hours, 24hours and 72hours after ablation($p < 0.05$).
- 3) There was no correlation between the number of applications and amounts of radiofrequency current and rise in LDH, CPK, CK-MB concentration.

Conclusion : The concentration of LDH, CPK and CK-MB were elevated after ablation but they were within normal limits. RF catheter ablation produced myocardial damage inevitably but minimally, then RF ablation is an effective and safe therapeutic modality for patients with symptomatic tachyarrhythmias.

KEY WORDS : Radiofrequency · Ablation · LDH · CPK · CK-MB.

*본 논문의 요지는 1994년 추계내과 학술대회에서 보고하였습니다.

서 론

증상을 유발하는 상심실성 빈맥의 치료에는 대증요법과 근본적인 치료법이 있다. 대증요법인 약물요법은 장기간 투여해야 하며 약물요법 자체의 독성과 부정맥 유발성 때문에 효과면에서 다시 평가되고 있고, 근치요법인 수술적 방법은 가장 효과적이기는 하나 비용과 수술에 따른 위험 부담 때문에 기피되고 있다. 그러나 최근에는 도자를 이용한 부회로 절제술의 발달로 상심실성 빈맥의 치료에 획기적인 전환점을 마련하였다.

1982년 처음으로 직류를 이용하여 도자절제술을 시행하였으나, 압력손상, 치명적인 심실부정맥의 유발, 심실기능의 저하 등의 합병증과 전신마취 상태에서 시행해야 하는 번거로움 때문에 합병증 발생율이 적고 전신마취가 필요없는 고주파를 에너지원으로 이용한 도자 절제술이 시술되고있다. 이러한 고주파도자절제도 실제로는 심근에 에너지를 투여함으로 심근 손상을 유발시켜 우회로를 절단하므로 어느 정도의 심근 손상은 필연적이라 하겠다. 고주파를 이용한 도자절제술후 합병증으로 여러가지가 보고되고 있으나 심근 손상의 정도를 평가한 연구는 많지 않다. 이 연구에서는 심근 손상의 정도를 평가하고자 전극도자절제술 전 후에 심근효소의 일종인 LDH, CPK, CK-MB isoenzyme의 변화를 측정하였다.

방법 및 대상

상심실성 빈맥을 나타내는 51명의 환자를 대상으로 하였고 남자는 32명 여자는 19명 이었다. 연령은 18세에서 67세까지로 평균 39.2 세였다. 심장전기생리적 검사를 통하여 진단된 질병의 형태는 Wolff-Parkinson-White 증후군이 23명, Concealed bypass tract는 15명, 방실결절

회귀성빈맥은 13명이었고 부회로는 왼쪽이 27명, 오른쪽이 11명이었다(Table 1). 도자는 6F혹은 7F의 4mm끝을 가진 4극 절제도자를 이용하였고, 고주파 발생기로는 RFG-3C(Radionics ®)를 이용하여 한번에 20~30초동안 50 내지 60 볼트의 에너지를 전달하였다. LDH, CPK, 그리고 CK-MB isoenzyme을 도자 절제술 전, 후 8시간, 16시간, 24시간, 그리고 72시간에 각각 측정하였다. LDH와 CPK는 340nm의 자외선을 이용한 spectrophotometer를 사용하여 측정하였고, CK-MB isoenzyme은 monoclonal antibody를 이용한 chemiluminescence method로 측정하였다.

결 과

51명의 환자에 투여한 고주파 에너지는 평균 18.3 ± 14.24 회였으며, 에너지 양은 평균 18066.3 ± 16471.83 Vsec 이었다(Table 1). LDH는 전극도자절제술전 $107.23 \text{ u/L} (\pm 37.84)$ 에서, 술후 8시간, 16시간에 각각 $168.0 \text{ u/L} (\pm 53.53)$, $129.23 \text{ u/L} (\pm 37.84)$ 로 상승하였고($p < 0.05$),

Table 1. Characteristics of subjects

Total patient	51
Sex M : F	32 : 19
Diagnosis	
WPW overt	23
concealed	15
AVNRT	13
Location of abnormal pathway	
Left side	27
Right side	11
AV Node	13
Age	39.27 ± 15.14
RF.No	18.31 ± 14.24
Energy amount(V.sec)	18066.27 ± 16471.83

Table 2. Change of LDH, CPK & CK-MB myocardial enzyme after RF ablation

	LDH(U/L)	CPK(U/L)	CK-MB(U/L)
RF.No	18.31 ± 14.24		
E. amount	$18066.27 \pm 16471.83(\text{v.sec})$		
Baseline	107.23 ± 37.84	60.90 ± 45.77	2.62 ± 1.69
8h	$168.00 \pm 53.53^*$	$93.38 \pm 56.29^*$	$8.03 \pm 6.75^*$
16h	$129.23 \pm 37.84^*$	$101.52 \pm 65.23^*$	$8.02 \pm 5.77^*$
24h	115.54 ± 29.79	$112.13 \pm 79.53^*$	$6.73 \pm 4.52^*$
3days	117.25 ± 56.57	75.48 ± 64.38	$4.39 \pm 4.21^*$

*P < 0.05 Paired T Test

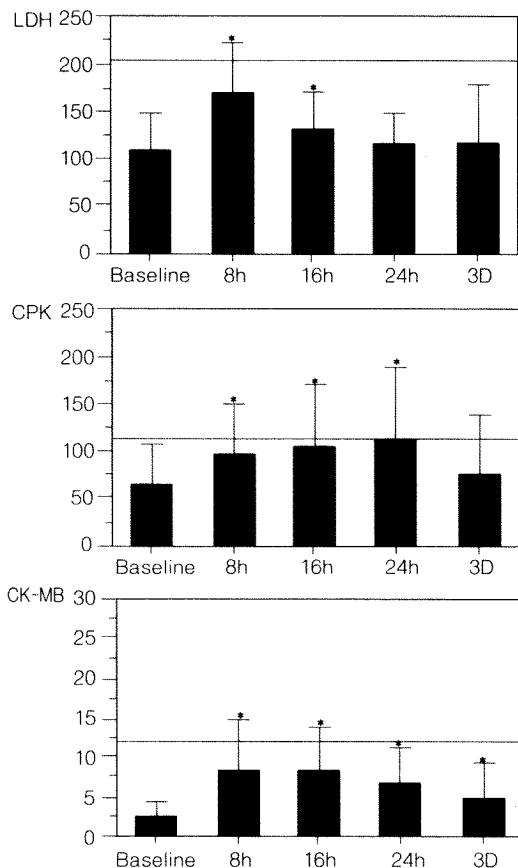


Fig. 1. Changes of myocardial enzyme after RF ablation.

CPK는 전극도자 절제술전 60.90u/L (± 45.7)에서, 술후 8시간, 16시간, 24시간에 각각 93.38u/L (± 56.29), 101.52u/L (± 65.23), 112.13u/L (± 79.53)으로 유의하게 상승하였다($p < 0.05$). CK-MB는 전극도자 절제술전 2.62ng/ml (± 1.69)에서, 술후 8시간, 16시간, 24시간, 72시간에 각각 8.03ng/ml (± 6.75), 8.02ng/ml (± 5.77), 6.73ng/ml (± 4.52), 4.39ng/ml (± 4.21)로 각각 유의하게 상승하였다($p < 0.05$, Table 2, Fig. 1). 심근효소의 상승은 부회로의 위치나 질병의 종류에 따라 혈중농도의 차이

는 없었고(Table 3, 4). 도자절제 성공여부에 따라서도 효소변화에 차이는 없었다(Table 5). LDH의 상승이 200u/L 이상인 군과 이하인 군 사이나 CPK가 120u/L 이상인 군과 이하인 군 사이에는 고주파의 에너지를 준 횟수나 량에는 차이가 없었으나, CK-MB가 11.9ng/ml 이상인 군과 이하인 군 사이에서만 투여한 고주파에너지의 횟 수에 유의한 차이를 보였다(Table 6). 고주파 에너지의 횟 수와 양의 변화에 따라 LDH, CPK, 그리고 CK-MB의 혈중농도와는 상관성이 없었다(Fig. 2, 3, 4)

고 찰

증상을 나타내는 상심실성 빈맥의 치료로 항부정맥 약제, 항빈맥 박동기, 수술요법, 도자 절제술 등이 있다. 수술요법은 근본적인 치료는 가능하지만 비용, 이환율, 사망 등의 문제점 때문에 꺼려져 왔고 항부정맥 약제는 독성과 자체의 부정맥 유발성 때문에 효과면에서 재평가되고 있는 실정이다.

1982년 Gallagher¹⁾과 Scheinman²⁾등이 처음으로 직류를 에너지원으로 이용한 도자 절제술을 시행함으로 부회로의 비외과적 완치 절제술이 발달하기 시작했다. 그러나 직류를 이용한 도자 절제술은 압력손상, 심실세동, 심장파열, 심실빈맥, 급사등의 합병증이 보고되었고³⁾ 전신마취 상태에서 시행해야하는 번거로움이 있었다. 이에 1987년 Huang⁴⁾과 Boggrefre⁵⁾등에 의해 고주파를 이용한 도자절제술이 시술되기 시작하였고, Huang⁶⁾과 Olgin⁷⁾등에 의하면 고주파 전극도자절제가 직접전기 전극도자절제보다 조직의 손상이 적고 정교하고 균일한 병변을 형성한다고 하여 고주파 전극도자절제가 직접전기 도자절제술 보다 안전하고 효과적인 병소를 만들수 있는 소견으로 생각되었다.

전극도자절제는 Wolff-Parkinson-White 증후군, 잠재성 방실부회로에 의한 빈맥등의 질환에서 거의 100%에

Table 3. Difference of peak LDH, CPK & CK-MB myocardial enzyme according to disease

	WPW syndrome		concealed		AVNRT		P
RF.No	21.57 \pm	16.73	14.13 \pm	9.999	17.38 \pm	3.64	NS
E.amount(v.sec)	22034.35 \pm	20416.45	13205.33 \pm	10608.75	16654.62 \pm	13158.13	NS
LDH(U/L)	181.02 \pm	53.47	89.36 \pm	54.70	172.77 \pm	53.31	NS
CPK(U/L)	136.43 \pm	79.56	118.43 \pm	83.73	120.67 \pm	100.34	NS
CK-MB(ng/ml)	9.49 \pm	5.36	10.55 \pm	9.67	6.36 \pm	3.32	NS

One Way ANOVA

Table 4. Changes of peak LDH, CPK, CK-MB myocardial enzyme according to location of accessory pathway

	Left side		Right side		AV node	
RF.No	12.93 ±	10.36	32.64 ±	14.94	17.38 ±	13.12*
E.amount(v.sec)	11518.15 ±	9605.92	35807.27 ±	121079.65	16654.62 ±	13158.13*
LDH(U/L)	193.88 ±	54.17	160.82 ±	45.39	125.30 ±	74.61
CPK(U/L)	128.84 ±	81.20	130.52 ±	82.99	120.67 ±	100.34
CK(mg/ml)	10.01 ±	8.11	9.67 ±	4.93	6.36 ±	3.32

One Way ANOVA *P < 0.05

Table 5. Changes of LDH, CPK, CK-MB myocardial enzyme after RF ablation according to result

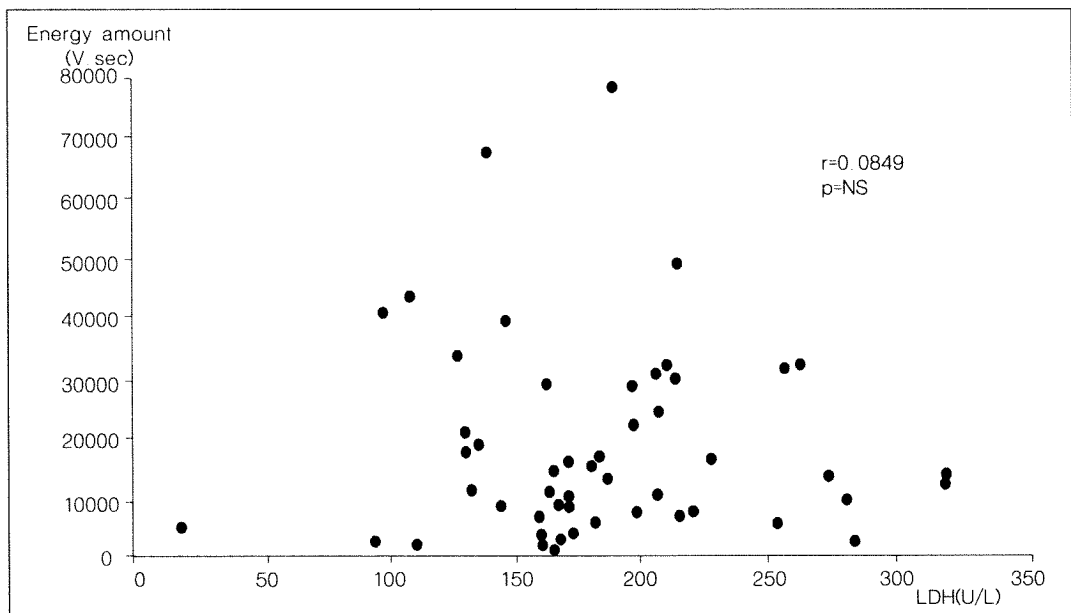
	Success		Fail		P
RF.No	16.07 ±	12.56	35.17 ±	15.96	0.031
E.amount(v.sec)	15313.56 ±	13637.86	38711.67 ±	22289.31	0.049
LDH(U/L)	186.11 ±	53.50	145.93 ±	35.34	0.039
CPK(U/L)	123.43 ±	84.14	154.77 ±	95.04	NS
CK-MB(ng/ml)	9.01 ±	7.03	8.98 ±	2.63	NS

T-Test

Table 6. Differences of RF.No & Energy amounts application between patient with/without abnormal elevation of cardiac enzyme after RF ablation

	RF No	P	E.amount(v.sec)	P
LDH > 200(U/L)	19.94 ± 13.50	NS	18679.41 ± 12905.26	NS
≤ 200(U/L)	17.50 ± 14.72		17759.71 ± 18167.36	
CPK > 120(U/L)	19.88 ± 15.09	NS	19296.92 ± 16045.87	NS
≤ 120(U/L)	16.68 ± 13.41		16786.40 ± 17137.89	
CK-MB > 11.9(ng/ml)	24.80 ± 8.61	0.034	21907.00 ± 8124.51	NS
≤ 11.9(ng/ml)	16.73 ± 14.96*		17290.51 ± 17880.50	

P < 0.05 T-Test

**Fig. 2.** Correlation between peak elevation of LDH myocardial enzyme and applied energy amount.

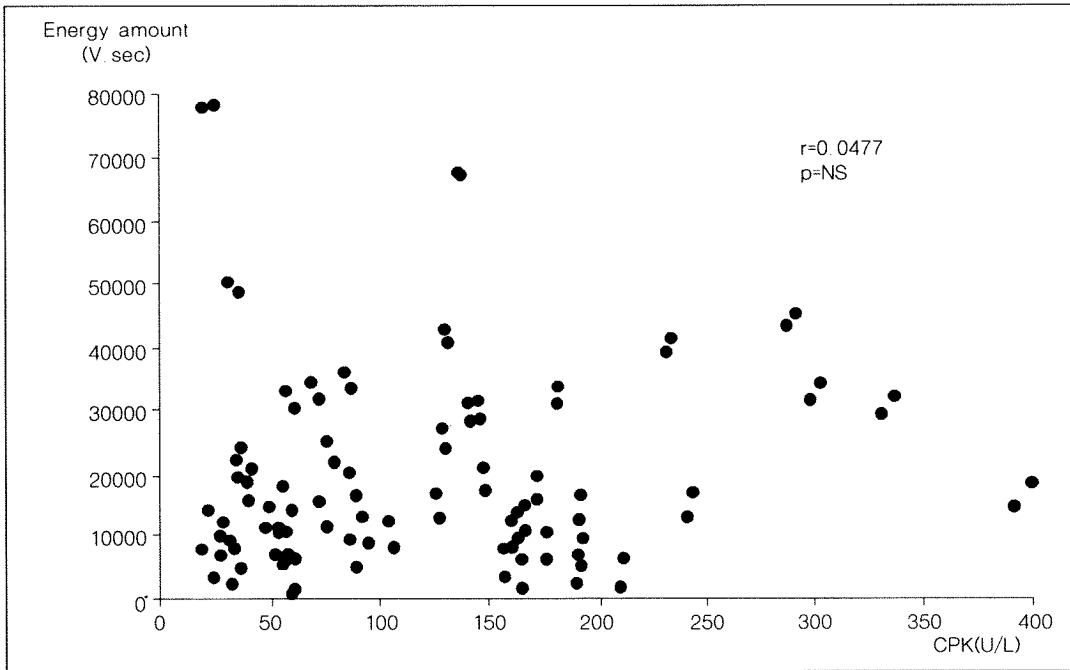


Fig. 3. Correlation between peak elevation of CPK enzyme and applied energy amount.

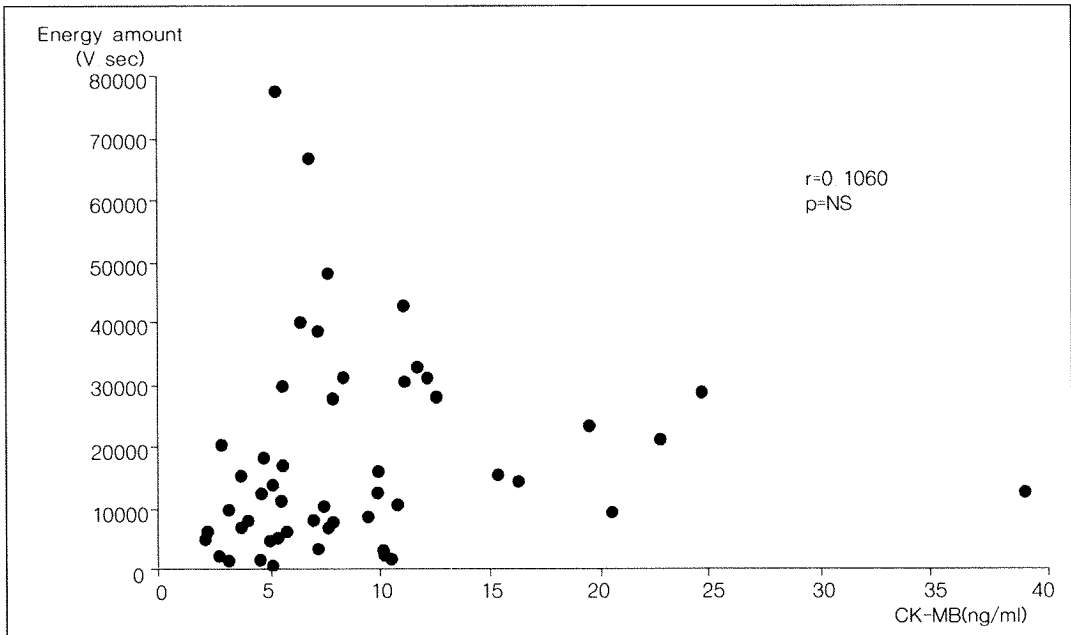


Fig. 4. Correlation between peak elevation of CK-MB enzyme and applied energy amount.

해당하는 높은 성공률을 보인다^{5,8,9,10,11,12)} 고주파 절제술후 발생하는 합병증으로는 판막손상, 혈관손상, 관상동맥수축, 혈전증, 심장파열, 완전방실 차단, 심낭염, 혈중 CPK농도의 증가등이 있으며, 이들은 3~5%에서 보고되

고 있다^{13,14,15,16,17)}. 고주파를 이용한 도자절제술후 심근 손상에 대한 간접평가로 Huang등¹⁸⁾은 실험동물 5예중 3예에서 CK혈중농도가 정상범위보다 증가했다고 보고했고 Jackman등¹¹⁾은 절제술후 13%에서 CK효소가 증가했고

CK-MB군이 5%이상으로 증가하였으나 심전도상 심근 경색증의 증거는 없었다고 보고하였으며, Calkins등⁸⁾은 99%에서 도자 절제후 CK농도가 $154 \pm 103 \text{ IU/L}$ (정상 : $30 \sim 240 \text{ IU/L}$) 이었고, 이중 13%에서 CK-MB농도가 증가하였다고 보고하였다.

고주파 에너지는 15~60 볼트의 낮은 전압과 30kHz~300MHz의 고주파 교류로부터 생성되는 전기에너지로 조직을 통해 교류가 전달됨으로써 열이 발생되고, 열은 조직건조, 혈액응고, 단백변성등을 통해 응고괴사를 일으킴으로써 심근에 병변을 형성하게 된다¹⁹⁾. 도자절제술의 방법에는 두가지가 있는데 하나는 단극법으로 교류가 조직과 접해진 도자를 통해서 체외 흡벽에 부착되어 있는 큰 접촉도자로 흘러나가는 방법이고, 다른 하나는 양극법으로 심장내에 위치한 두개의 도자사이로 교류가 흘러 나가는 방법으로 최근에는 단극법을 많이 사용하며, 이 연구에서도 단극법을 이용하였다.

방실결절변조술은 주로 관상정맥동의 입구를 통해 이루어지고 방실부회로의 절제술은 부회로가 오른쪽에 위치할 경우 삼첨판륜의 심방 혹은 심실 부위에서 이루어 지고 좌측에 위치할 경우 승모판륜의 심방 혹은 심실부위에서 이루어 진다²⁰⁾.

심근병변에 영향을 주는 인자로는 전달된 전력의 양과 시간, 도자조직간의 접촉압, 도자의 크기, 장치의 저항등이 있다. 전달된 전력의 양과 시간은 병변의 크기와 비례할 것으로 생각되나, 심근이 전력에 노출된 시간이 20초면 병변은 완성되어지고 이후는 전력의 양에 따라 병변의 크기가 정해진다. 그러나 혈액내에서는 30초 이상 전력을 주거나 전력이 30와트이상되면 도자끝에 혈액응괴가 형성되게 된다. 혈액응괴가 형성되면 저항은 급격히 증가하고, 저항이 증가한 경우에 지속적으로 에너지를 방출하면 심내막 표면을 태우거나 분열시키며, 이는 혈전의 원인으로 작용될 수도 있고 효과적인 병변을 얻지 못한다.²¹⁾ 도자는 표준도자보다 끝이 큰 도자를 이용하는 것이 도자-조직간의 접촉면적이 넓어져 병변의 크기를 크게할 수 있으나²²⁾ 도자의 크기를 증가시키면 저항의 생성이 늦어져서 너무 큰 도자를 이용하면 오히려 효과적인 병변을 얻는데 적합하지 않고, 3~4mm의 도자가 가장 효과적인 병변을 만들 수 있다²³⁾. 생체의 실험에서는 전달된 에너지와 도자 끝의 온도가 병변크기와 비례관계를 이루고 있으나^{18,20,24)} 생체에서는 그렇지 못하다. 이는 체외 실험에서는 도자-조직 접촉압과 저항을 일정하게 유지할수 있

나 체내에서는 접촉압과 저항을 일정하게 유지할 수 없고, 도자 온도를 감지할 방법이 없기 때문이다²⁵⁾. 도자 전달방법중에 능동적 고정도자와 수동적 접촉도자를 이용하는 방법들이 있고, 능동적 고정도자를 이용하여 고주파를 전달하는 것이 병변의 크기와 전달된 에너지 양과의 비례관계를 좋게한다는 보고가 있다²⁶⁾. 이 연구에서 도자절제는 4mm크기의 도자를 이용하였고 고주파 적용 시간은 20~30초, 전력은 50~60볼트를 이용하여 절제술을 시행하였고 도자끝의 저항을 감지하며 수동적 접촉도자법으로 시행하였다. 앞에서 보고하였듯이 전달된 에너지의 양과 횡수와 혈중 심근효소의 농도는 서로 비례하지는 않았으며, 이는 도자-조직간의 접촉압이 일정하게 유지되지 않았기 때문이라 생각된다. 그러나 고주파 에너지를 이용한 도자절제술의 성공율이 거의 100%에 가깝게 보고되고 있고 또한 본 연구자들도 86.5%의 성공율을 보였기에 효과적인 병변을 형성했다고 생각된다. 따라서 고주파 에너지를 이용한 도자 절제술 후 심근효소의 증가는 있었지만 모두 정상범위(LDH < 200U/L, CPK < 125U/L, CK-MB < 11.27ng/ml)내에 있어, 고주파 도자 절제술의 심근에 대한 손상은 경미한 것으로 생각된다.

요 약

연구목적 :

상심실성 빈맥의 치료로 합병증 발생율이 적은 고주파를 이용한 도자절제술이 많이 이용되고 있다. 도자절제술도 심근손상을 유발시켜 우회로를 절단시키므로 심근 손상은 필연적이다. 본 연구에서는 고주파 도자절제술에 의한 심근 손상의 정도를 파악코저 한다.

대상 및 방법 :

상심실성 빈맥을 나타내는 51명의 환자를 대상으로 하였고 심장전기생리학적 검사를 통해 부회로의 위치를 확인하고 주파에너지를 도자 끝이 4mm인 6Fr 또는 7Fr 절제도자를 이용하여 단극법으로 20~30초동안 50~60 볼트의 전력을 주입하여 도자절제술을 시행하였고 도자절제술 전, 후 심근효소의 일종인 LDH, CPK, CK-MB isoenzyme을 시간별로 측정하였다.

결 과 :

도자절제술후 LDH, CPK, CK-MB isoenzyme은 통계적으로 유의한 상승을 보였으나 대부분의 환자에서는 정상범위에 해당하였으며, 부회로의 위치, 질병의 종류,

절제술의 성공여부와 혈중농도사이에는 유의한 상관성이 없었다.

결 론 :

고주파 도자절제술은 심근손상을 유발하나 경미한 것으로 생각되며, 합병증 발생율이 적고 성공율도 높으므로 상심실성 빈맥의 치료에 근치적 방법으로 사용되어야 하겠다.

References

- Gallagher JJ, Svenson RH, Kasell JH, German LD, Bardy GH, Broughton A, Critelli G : *Catheter technique for closed-chest ablation of the atrioventricular conduction system.* N Engl J Med 306 : 194-200, 1982
- Scheinman MM, Morady F, Hess DS, Gonzalez R : *Catheter-induced Ablation of the atrioventricular junction to control refractory supraventricular arrhythmias* JAMA 248 : 851-855, 1982
- Rosenqvist M, Lee MA, Moulinier L, Springer MJ, Abbott JA, Wu B, Langberg JJ, Griffin JC, Scheinman MM : *Long-term follow-up of patients after Transcatheter direct current Ablation of the atrioventricular junction.* J Am Coll Cardiol 16;1467-74, 1990
- Huang SK, Bharati S, Graham AR, Lev M, Marcus FI, Odell RC : *Closed chest catheter desiccation of the atrioventricular junction using radiofrequency energy - A new method of catheter ablation.* J Am Coll cardiol 9 : 349-358, 1987
- Borggrefe M, Budde T, Podczek A, Breithardt G : *High frequency alternating current ablation of an accessory pathway in humans.* J Am Coll Cardiol 10 : 576-582, 1987
- Huang SK, Graham AR, Lee MA, Ring ME, Gorman GD, Schiffman R : *Comparison of catheter ablation using radiofrequency versus direct current energy : biophysical, electrophysiologic and pathologic observation.* J Am Coll Cardiol 18 : 1091-1097, 1991
- Olgin JE, Scheinman MM : *Comparison of high energy direct current and radiofrequency catheter ablation of the atrioventricular junction.* J Am Coll Cardiol 21 : 557-564, 1993
- Calkins H, Langberg J, Sousa J, El-Atassi R, Leon A, Kou W, Kalbfleisch S, Morady F : *Radiofrequency catheter ablation of accessory atrioventricular connections on 250 patients* Circulation 85 : 1337-1346, 1992
- Kuck KH, Geiger M, Schlüter M, Duckeck W, Siebels J : *Radiofrequency current ablation of left-sided accessory pathways-the single catheter technique (abstract).* J Am Coll Cardiol 17 : 108A, 1991
- Kuck KH, Kunze KP, Schlüter M, Geiger M, Jackman WM : *bation of a left-sided free-wall accessory pathway by percutaneous catheter application of radiofrequency current in a patient with the Wolff-Parkinson-White syndrome.* PACE 12 : 1681-1690, 1989
- Jackman WM, Wang X, Friday KJ, Roman CA, Moulton KP, Beckman KJ, McClelland JH, Twidale N, Hazlitt A, Prior MI, Margolis PD, Calame JD, Overholt ED, Lazzara R : *Catheter ablation of accessory atrioventricular pathways(Wolff-Parkinson-White syndrome) by radiofrequency current.* N Engl J Med 324 : 1605-1611, 1991
- Calkins H, Sousa J, el-Atassi R, Rosenheck S, de Buitelir M, Kou WH, Kadish AH, Langberg JJ, Morady F : *Diagnosis and cure of the Wolff-Parkinson-White syndrome or paroxysmal supraventricular tachycardias during a single electrophysiologic study.* N Engl J Med 324 : 1612-1618, 1991
- Schlüter M, Geiger M, Siebels J, Duckeck W, Kuck KH : *Catheter ablation using radiofrequency current to cure symptomatic patients with tachyarrhythmias related to an accessory atrioventricular pathway.* Circulation 84 : 1644-1661, 1991
- Lee MA, Morady F, Kadish A, Schamp DJ, Chin MC, Scheinman MM, Griffin JC, Lesh MD, Pederson D, Goldberger J, Calkins H, de Buitelir M, Kou WH, Rosenbeck S, Sousa J, Langberg JJ : *Catheter modification of the atrioventricular junction with radiofrequency energy for control of atrioventricular nodal reentry tachycardia.* Circulation 83 : 827-835, 1991
- Jazayeri MR, Hempe SL, Sra JS, Dhala AA, Blanck Z, Deshpande SS, Avitall B, Krum DP, Gilbert CJ, Akhtar M : *Selective transcatheter ablation of the fast and slow pathways using radiofrequency energy in patients with atrioventricular nodal reentrant tachycardia.* Circulation 85 : 1318-1328, 1992
- Lesh MD, Van hare GF, Scheiman MM, Ports TA,

- Epstein LA : *Comparison of the retrograde and transseptal methods for ablation of left free wall accessory pathways*. *J Am Coll Cardiol* 22 : 542-549, 1993
- 17) Lesh MD, Van Hare GF, Schamp DJ, Chien W, Lee MA, Griffin JC, Langberg JJ, Cohen TJ, Lurie KG, Scheinman MM : *Curative percutaneous catheter ablation using radiofrequency energy for accessory pathways in all locations : Results in 100 consecutive patients*. *J Am Coll Cardiol* 19 : 1303-1309, 1992
 - 18) Huang SK, Graham AR, Hoyt RH, Odell RC : *Transcatheter desiccation of the canine left ventricle using radiofrequency energy : A pilot study*. *Am Heart J* 114 : 42-48, 1987
 - 19) Heines DE, Watson DD : *Tissue heating during radiofrequency catheter ablation : A thermodynamic model and observations in isolated perfused and superfused canine right ventricular free wall*. *PACE* 12 : 962-976, 1989
 - 20) Manolis AS, Wang PJ, Mark estes III NA : *Radiofrequency catheter ablation for cardiac tachyarrhythmias*. *Ann Intern Med* 121 : 452-461, 1994
 - 21) Wittkampf FHM, Hauer RNW, Robles de Medina EO : *Control of Radiofrequency lesion size by power regulation*. *Circulation* 80 : 962-968, 1989
 - 22) Jackman WM, Wang X, Friday KJ, Fitzgerald DM, Roman C, Moulton K, Margolis PD, Bowman AJ, Kuck KH, Naccarelli GV, Pitha JV, Dyer J, Lazzara R : *Catheter ablation of atrioventricular junction using radiofrequency current in 17 patients* : *Circulation* 83 : 1562-1576, 1991
 - 23) Langberg JJ, Lee MA, Chin MC, Rosenqvist M : *Radiofrequency catheter ablation : the effect of electrode size on lesion volume in vivo* : *PACE* 13 : 1242-1248, 1990
 - 24) Ring ME, Huang SK, Gorman G, Graham AR : *Determinants of impedance rise during catheter ablation of bovine myocardium with radiofrequency energy*. *PACE* 12 : 1502-1513, 1989
 - 25) Huang SK : *Advances in applications of radiofrequency current to catheter ablation therapy* *PACE* 14 : 28-42, 1991
 - 26) Huanlin An H, Saksena S, Janssen M, Osypka P : *Radiofrequency ablation of ventricular myocardium using active fixation and passive contact catheter delivery systems*. *Am Heart J* 118 : 69-77, 1989