고주파에너지를 이용한 미로술식의 성적향상을 위한 새로운 기구의 개발

박 남 희*·유 양 기**·이 재 원**

Development of New Device to Improve Sucess Rate of Maze Procedure with Radiofrequency Energy

Nam Hee Park, M.D.*, Yang gi Yoo, M.D.**, Jae Won Lee, M.D.**

Background: The sinus conversion rate after the maze procedure in chronic atrial fibrillation using radiofrequency energy is lower than with either conventional 'cut and saw' technique or cryothermia. The creation of incomplete transmural lesions due to poor tissue-catheter contact is thought to be the main cause. To address this problem, the current study was aimed to evaluate the effectiveness of a specially constructed compression device designed to enhance tissue catheter contact during unipolar radiofrequency catheter ablation. ***Material and Method:*** Circumferential right auricular epicardial lesions were created with a linear radiofrequency catheter in 10 anesthetized pigs. A device specially designed to increase contact by compression of the catheter to the atrial wall was used in 5 pigs (study group). This device was not used in the control group (5 pigs). Conduction block across the right auricular lesion was assessed by pacing, and the transmurality of the lesions were confirmed by microscopic examination. ***Result:*** Conduction block was observed in a total of 8 pigs; 5 in study group and 3 in control group. Transmural injury was confirmed microscopically by the accumulation of acute inflammatory cells and loss of elastic fibers in the endocardium. In two pigs with failed conduction block, microscopic examination of the endocardium appeared normal. ***Conclusion:*** Failed radiofrequency ablation is strongly related to non-transmural energy delivery. The specially constructed compression device in the current study was successful in creating firm tissue-catheter contact and thereby generating transmural lesions during unipolar radiofrequency ablation.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 2004;37:467-473)

Key words: 1. Radiofrequency
2. Arrhythmia surgery

서 론

가장 흔한 부정맥인 심방세동(atrial fibrillation, AF)의 치료에 있어 미로 술식(Maze procedure)의 효과는 잘 알려져 있다[1,2]. 그러나 초기의 전통적인 수술방법(cut and saw)은 많은 심방 절개와 봉합으로 인해 긴 수술시간이 요구되며 술 후 출혈 등의 위험이 있어 심방세동을 가진 환자에서 미로 술식의 적용은 적지 않은 부담으로 여겨졌다.

*계명대학교 의과대학 동산의료원 흉부외과학교실
Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Dongsan Medical Center, School of Medicine, Keimyung University
**울산대학교 의과대학 서울아산병원 흉부외과학교실
Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Asan Medical Center, College of Medicine, Ulsan University
† 본 연구는 아산생명과학연구소의 연구비 지원으로 이루어졌음.
‡ 본 논문은 대한흉부외과학회 제35회 추계학술대회에서 발표되었음.
논문접수일 : 2004년 3월 19일, 심사통과일 : 2004년 4월 13일
책임저자 : 이재원 (138-040) 서울특별시 송파구 풍납동 388-1, 울산대학교 의과대학 서울아산병원 흉부외과학교실
(Tel) 02-3010-3584, (Fax) 02-3010-6966, E-mail: jwlee@amc.seoul.kr
본 논문의 저작권 및 전자매체의 지적소유권은 대한흉부외과학회에 있다.

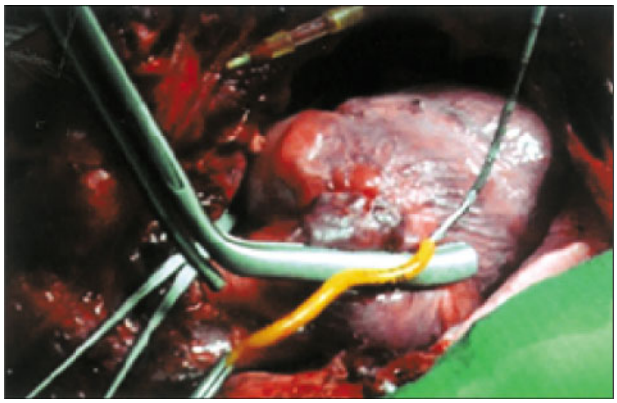

Fig. 1. Application of clamp-typed device during radiofrequency ablation.

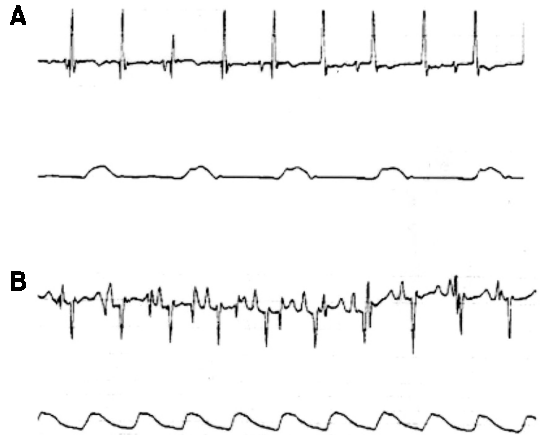

Fig. 2. Assesment of conduction block. Successful conduction block is presented in A and failed conduction block is presented in B.

이에 외과적 절개를 대신하기 위한 여러 가지 방법들이 제시되었는데 그 중에서 냉동절제(cryoablation)는 가장 널리 알려진 방법이며 술 후 좋은 결과로 인해 근래까지 많이 사용되고 있다[3]. 또한 최근에는 고주파(radiofrequency) 또는 극초단파(microwave) 등의 대체 에너지들이 개발되어 실제 임상에서 활발히 사용되고 있는 추세이다[4-7].

이들 가운데 고주파에너지를 이용한 미로 술식의 초기 및 중기 성적들이 발표되면서 수술 성공률이 약 65~85% 정도에 그치고 있어 기존의 cut and saw technique나 cryoablation을 이용한 수술에서의 95% 이상의 성공률에 비해 낮은 것으로 알려져 있다. Maze 술식의 개발자인 Cox[5]는 대체에너지의 사용이 심장의 전층에 병변(transmurality of the lesion)을 만들지 못하였고 따라서 macro-reentry circuit를 완전하게 차단하지 못한 데서 기인하는 것으로 그 원인을 설명하고 있다.

이에 본 연구에서는 transmural lesion이 만들어지지 않는 주된 이유를 심장과 도자간의 접촉(tissue-cathter contact)이 좋지 않기 때문이라고 가정하였고 이를 개선하기 위하여 특별한 보조 장비를 고안하였으며 이러한 기구 사용의 실제 효과를 알아보기 위하여 동물 실험을 계획하였다.

대상 및 방법

1) 기구의 고안 및 실험동물의 준비

가늘고 긴 막대모양의 도자를 심방벽에 완전히 밀착시키고 심방과 도자 간에 일정한 압력을 가하기 위해 겸자 모양의(clamp type) 기구를 선택하였다. 겸자의 안쪽 면에는 도자의 직경보다 약간 큰 홈을 만들어 그 사이에 도자와 심방조직이 한꺼번에 들어갈 수 있도록 하였으며 접촉면에는 절연처리를 하여 에너지 전달 시 주위 구조물에는 열에너지가 전달되지 않도록 하여 동반손상을 미리 예방할 수 있도록 하였다. 이렇게 하여 심방과 도자는 겸자의 홈 안에서 완전한 접촉이 이루어지도록 하였으며 겸자의 손잡이를 잡으면 일정한 힘이 접촉면에 골고루 분포되도록 하였다.

실험동물은 60 kg 내외의 건강한 돼지를 대상으로 하였으며 실험동물의 준비(검수, 검역, 순화) 및 사육관리는 미국 국립보건원(National Institutes of health)의 지침(NIH publication 85-23)에 근거한 아산생명연구소 실험동물실의 프로그램에 따라 이루어졌다. 실험동물의 마취는 먼저 10~15 mg/kg의 Ketamine (유한양행, Korea)을 근육 주사하여 안정시킨 다음 사지를 고정하고 귀 후방의 정맥에 20 gauze의 정맥주사용 카테타(동방의료기, Korea)를 거치하여 정맥 통로를 확보한 뒤 Dormicum (한국로슈, Korea)을 5 mg 투여하였다. 심전도 감시를 시행하며 호흡을 확인하면서 기도 확보를 위한 기관 절개를 시행하고 기관 삽관을 시행하였다. 흡입마취제로는 Enflurane (중외제약, Korea)을 사용하였으며 Vecroniume (이연제약, Korea) 등의 근이완제를 투여하면서 전신마취를 유지하였다. 정중 흉골 절개를 시행한 후 좌측 내유동맥에 동맥 카테터(arterial line)를 거치하여 수술 중 혈압을 연속적으로 감시하였고 상대정맥에 18 gauze의 카테타를 설치하여 수액공급의 통로를 확보하였다.

2) 고주파를 이용한 우심방이의 전기적 분리

심낭을 절개하여 우심방이(right auricle)의 첨부로부터

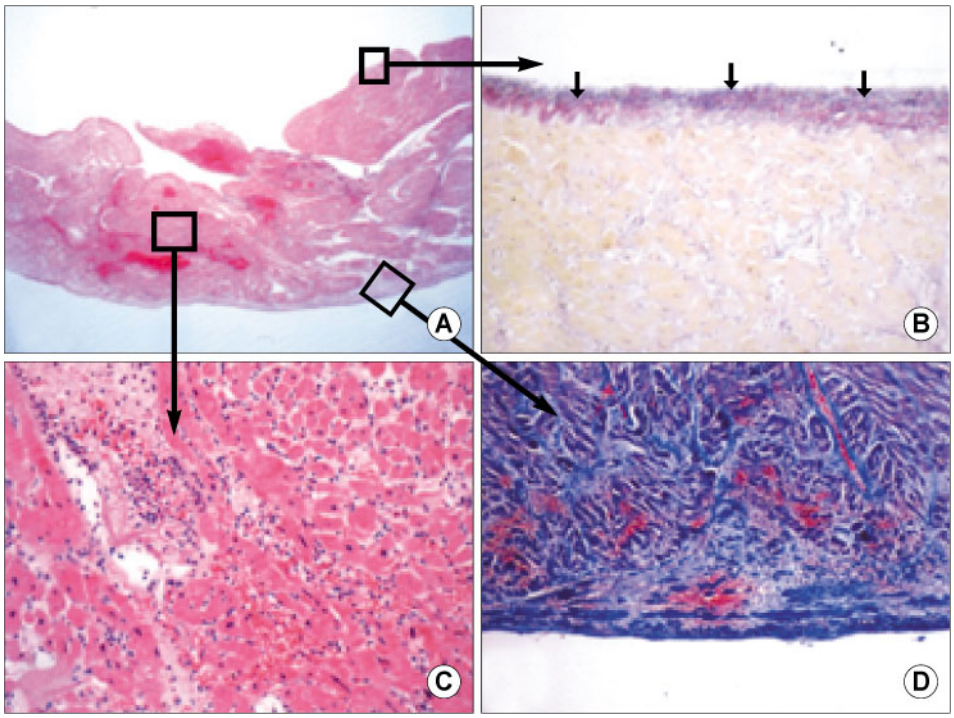

Fig. 3. Representative photomicrograph of pig right atrium of experimental group (A). The endocardium showing a loss of the elastic fibers (arrows) (B). The myocardium reveals the degeneration of cardic muscles with diffuse acute inflammatory infiltrates. Also noted is area of organizing hemorrhage (C). The epicardium exhibiting collagen degeneration with edematous change (D). (A, H&E, original magnification ×20; B, elastic stain, original magnification ×200; C, H&E, original magnification × 200; D, trichrome stain, original magnification ×100).

2～3 cm 아래에 고주파절제술을 시행하였는데 상품화된 도자(Cobra, Boston Scientific-EP Technologies, Sanjose, CA)와 generator (Cobra ESU, Boston Scientific-EP Technologies)를 사용하였다. 이때 80°C의 온도에서 150 W의 전력으로 90초간 에너지를 가하였으며 도자의 저항 증가에 의한 온도상승을 막고 동시에 심방조직의 popping과 charring을 방지하기 위하여 절제술 중 저온의 생리식염수를 연속적으로 점적하였다. 우심방이의 양측에 에너지를 가하여 전체적으로 심외막(epicardium)에 만들어진 병변의 모양이 우이심방이를 완전히 한바퀴 둘러싸도록(circumferential lesion)하여 우심방이를 우심방으로부터 전기적으로 완전히 분리하였다.

실험은 10마리의 돼지를 5마리씩 두 군으로 나누어 시행하였는데 실험군(n=5)에서는 에너지를 가할 때 새로이 고안한 기구를 사용하였으며(Fig. 1) 대조군(n=5)에서는 사용하지 않았다.

3) 절제술의 성공 여부에 대한 평가

고주파 절제술이 끝난 후 우심방이의 첨부에 인공심장박동을 전달하기 위한 전극을 설치하고 인공심장박동기에 연결한 다음 5 V, 10 mA에서 분당 150회의 심박동을 시행하였다. 심박동의 전달이 우심방이의 병변을 지나 우심방에 전달되는지 유무를 육안으로 관찰하였고 이때 모니터에 보이는 심전도상의 맥박과 동맥혈압곡선상의 맥박 수를 비교하였다. 심전도상의 맥박 수와 동맥혈압곡선상의 맥박 수가 일치하면 이는 심박동의 전달이 이루어진 것이므로 절제술이 실패한 것으로 보았으며 심전도상의 맥박 수는 분당 150회로 빨라졌으나 동맥혈압곡선상의 맥박 수에 변화가 없으면 심박동의 전달이 차단된 것이므로 절제술이 성공한 것으로 평가하였다.

실험동물을 희생시킨 다음 심장을 적출하여 심방의 병변을 육안적으로 관찰하고 현미경검사를 위해 10%의 Formaline 용액에 고정하였다. 조직은 H&E stain, elastic stain 그리고 trichrome stain을 시행하여 심외막(epicardium), 심근(myocardium), 심내막(endocardium)의 변화를 관찰하여 병변의 transmurality를 판정하였다.

결 과

1) 심박동 전달의 차단 유무(assessment of conduction block)

실험군의 5예와 대조군의 3예에서 전달차단(conduction block)이 관찰되었으며(Fig. 2A) 대조군의 2예에서는 관찰되지 않았다(Fig. 2B).

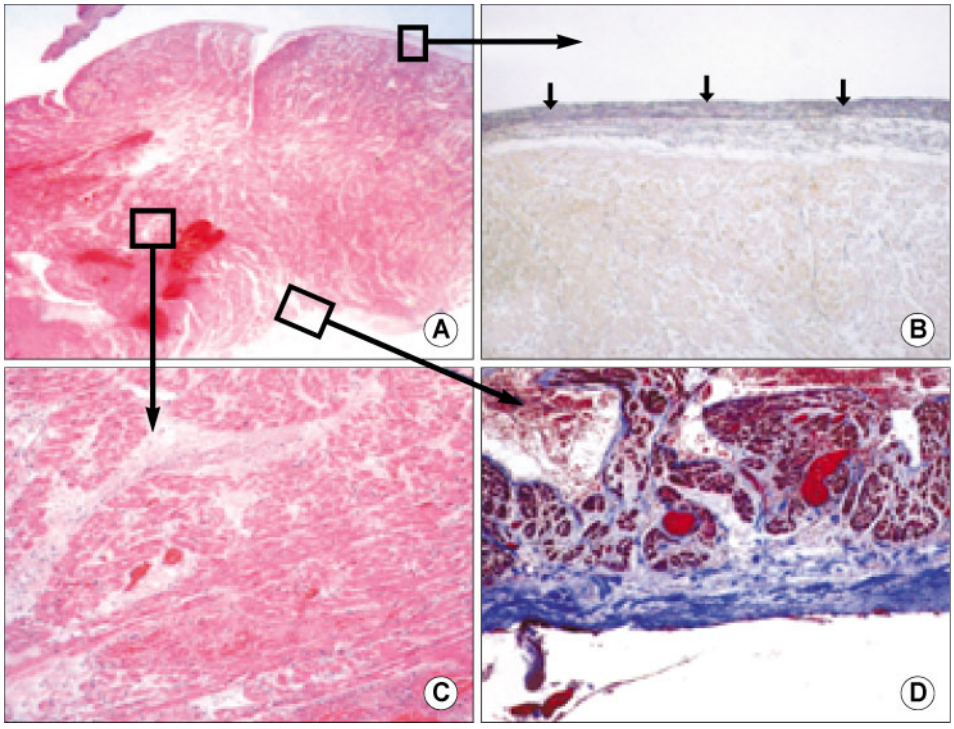

Fig. 4. Representative photomicrographs of experimental group with epicardial and myocardial damage (A). The endocardium showing well preserved elastic fibers (arrows) and some connective tissues (B). The myocardium reveals the degeneration of cardic muscles with sprinkling acute inflammatory infiltrates. Also noted is area of organizing hemorrhage (C). The epicardium exhibiting degeneration of collagen and cardiac muscles with edematous change (D). (A: H&E, original magnification ×20; B: elastic, original magnification ×200; C: H&E, original magnification ×200; D: trichrome, original magnification ×100).

2) 조직 검사

전달차단이 관찰된 전례에서 심내막, 심근, 심외막의 변화가 관찰되었는데 심외막의 경우 adipocyte의 파괴, collagen의 변성과 전반적인 부종이 관찰되었고 심근에서는 전체적으로 심근 fiber가 변성되고 급성염증세포(acute inflammatory cell)가 심하게 축적되어 있었으며 심내막은 elastic fiber가 심하게 변성되어 있어 열손상을 시사하는 변화가 관찰되었다(Fig. 3). 반면에 전달차단이 관찰되지 않았던 2예에서는 심내막의 탄성섬유가 잘 보존되어 있으며 심근에도 염증세포의 축적이 심하지 않아 심방의 전층에 열손상에 의한 병변이 만들어지지 않은 것으로 확인되었다(Fig. 4).

3) 실험결과의 요약

우심방이의 평균 두께는 실험군이 7.18±0.8 mm, 대조군이 7.04±0.4 mm이었다. 또한 기구를 사용하지 않은 대조군 2예에서 전달차단이 관찰되지 않았으며 이들에 대한 조직검사에서 심내막이 잘 보존되어 있는 것을 관찰할 수 있어 심방의 전층에 병변이 만들어지지 않았음을 확인하였다. 실험의 결과를 요약하면 Table 1과 같다.

Table 1. Summary of the experimental results

Animal	Device	Thickness (mm)	Conduc-tion block	Endocar-dium	Epicardium
1	No	7.1	No	Preserved	Injured
2	No	6.9	Yes	Injured	Injured
3	No	7.4	No	Preserved	Injured
4	No	6.5	Yes	Injured	Injured
5	No	7.3	Yes	Injured	Injured
6	Yes	6.2	Yes	Injured	Injured
7	Yes	7.7	Yes	Injured	Injured
8	Yes	7.1	Yes	Injured	Injured
9	Yes	6.7	Yes	Injured	Injured
10	Yes	8.2	Yes	Injured	Injured

고 찰

고주파를 이용한 조직의 열손상(thermal injury)은 전극에서 발생하는 라디오 주파수 대역(1 KHz～10 MHz)의 전류가 조직(tissue)을 통과하여 접지가 되는 전극으로 전류가 흘러가면서 발생하게 되는데, 이때 조직은 전류의 흐

름에 있어 저항으로 작용하여(tissue resistance) 전기에너지가 열에너지로 전환되면서 조직에서 열손상이 일어나게 된다. 열손상은 크게 두 가지 기전에 의해 일어나는데 도자와 조직의 접촉면에서 앞서 언급한 조직의 저항에 의해 발생되는 resistive heating과 표면에 발생된 열이 조직의 아래로 전달되는 conductive heating에 의해 일어난다.

열 손상에 의한 병변의 깊이(depth)와 넓이(width)는 여러 가지 인자에 의해 좌우되는데 도자와 조직의 온도, 도자와 조직간의 접촉 면적, 고주파에너지의 세기(power), 그리고 에너지의 전달 시간 등이 있다[8-11]. 이 가운데 임상적으로 가장 중요한 영향을 미치는 것은 도자와 조직간의 접촉의 적정성(adequacy of tissue catheter contact)인데[12] 도자와 조직 간의 접촉이 좋지 않으면 전류의 흐름에 있어 저항이 상승하면서 resistive heating은 과도하게 일어나고 conductive heating은 감소하게 되어 조직의 깊은 부위까지 열이 제대로 전달되지 않는 현상을 보인다. 또한 표면에서는 조직의 popping이나 charring과 같은 현상이 일어날 수 있으며 심한 경우 조직의 천공까지 일어날 수 있다. 따라서 절제술 시 도자와 조직 간에 안정적인 접촉을 유지하는 것이 미로술식에서 요구되는 심방 전 층의 병변을 얻기 위해서는 매우 중요하다 하겠다.

본 연구에서 transmural lesion이 만들어지지 않았던 1번 및 3번 실험동물의 경우 고주파에너지를 이용하여 우심방이를 완전히 분리하였으나 conduction block 검사에서 인공심박동기의 전기자극이 절제선(ablation line)을 지나 우심방 쪽으로 전달된 것을 확인하였는데 이는 조직 검사에서 확인된 열손상의 흔적이 없는 심내막(endothelium), 즉 정상적으로 남아 있는 조직(residual surviving tissue)을 통해 심박동이 전달된 것으로 해석할 수 있다[5,13]. 이 두 실험동물은 모두 기구를 사용하지 않았던 대조군이었는데 비슷한 심방의 두께에 같은 시간 동안 동일한 세기의 에너지를 주었으나 심내막의 손상이 일어나지 않았던 것으로 확인되었다. 이는 동일한 조건에서 병변의 깊이가 서로 다르게 나타난 경우로 앞서 언급한 병변의 깊이를 결정하는 여러 가지 인자들 중 도자와 조직간 접촉이 원활하지 않았기 때문에 발생한 것으로 판단된다.

Cox 등에 의하면 미로술식에서 심방의 전 층에 병변을 만드는 것은 필수적이며[4,5] 고주파에너지를 이용한 미로술식이 기존의 절개 및 봉합술이나 냉동절제술과 비교해 수술 성적이 낮은 주된 원인으로 술 중 심방의 전 층에 병변을 얻는 데 제한이 있기 때문이라고 하였다. 즉 수술 중에 심방 전 층의 병변을 확인할 방법이 없고 또한 확신할 수 없기 때문에 미로술식의 성공 여부를 담보할 수 없다는 것이다. 본 연구에서 기구를 사용하지 않은 5예의 실험동물 중 3예에서만 심방의 전 층에서 병변을 얻을 수 있었는데 이러한 결과는 고주파 에너지를 시용할 때 그 결과가 항상 동일하고 반복적이지 못하다는 점을 시사한다고 하겠다. 반면에 기구를 사용하여 도자와 조직 간에 확실한 접촉을 유지하였던 실험군에서는 전례에서 심방의 전 층에 병변을 얻을 수 있어서 이와는 대조적인 결과를 보여 주었다. 따라서 고주파 에너지를 이용한 미로술식에 있어 이러한 기구의 사용은 심방의 전 층에 걸친 병변을 확실하게 담보할 수 있어 매우 효과적이라고 생각되며 향후 심폐바이패스 없이 미로술식을 하는 데 있어 unipolar catheter의 한계점을[14] 극복하는 데 많은 도움이 될 것으로 생각된다.

실험에서 사용된 기구는 겸자 모양의 형태를 취하고 있다. 겸자의 안쪽 면은 조직과 도자의 접촉을 원활히 하기 위하여 상품화된 도자의 굵기와 심방의 평균 두께를 감안하여 홈을 만들었으며 또한 절연처리를 하여 에너지 전달 시 열에너지에 의한 주변 조직의 동반손상이 일어나지 않도록 하였다. 이는 임상에서 고주파에너지를 사용할 때 보고된 식도나 기관의 손상을[15] 막기 위해 적용한 것이다. 또한 겸자에 차가운 생리 식염수를 연속적으로 점적할 수 있는 통로를 만들어 표면의 온도가 과도하게 상승하지 않도록 하였다[16]. 그러나 이러한 형태의 기구를 임상에 실제 적용하기에는 아직 몇 가지 보완해야 할 점이 있을 것으로 생각된다. 미로술식에서 심방의 절제선(ablation line)은 그 형태가 매우 다양하므로 기본적인 몇 가지 형태의 겸자를 추가로 개발하거나 Chitwood clamp와 같은 형태의 겸자를 개발한다면 실제 임상에서 사용하기에 적합할 것으로 사료된다. 향후 이러한 기구의 개발의 방향은 체외순환을 하지 않고 심외막에서만 고주파에너지를 이용하여 양측 폐정맥을 전기적으로 안전하게 분리시킬 수 있도록 해야 할 것으로 생각된다.

결론적으로 고주파에너지를 이용한 미로술식에서 현재 상품화된 도자로는 심방의 전 층에 병변을 만드는 데 제한점이 있으며 이는 도자와 조직 간의 접촉이 원활하지 못한 데서 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 사용한 기구는 도자와 조직 간의 확실한 접촉을 유도하는데 효과적이었으며 이는 곧 심방의 전 층에 병변을 얻는 데 유용한 것으로 판단된다. 그러나 실제 임상에 적용하기 위해서는 기구의 변형이 좀더 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Cox JL, Boineau JP, Schuessler RB, Kater KM, Lappas DG. *Five-year experience with the maze procedure for atrial fibrillation.* Ann Thorac Surg 1993;56:539-49.
2. Cox JL, Schuessler RB, Lappas DG, Boineau JP. *An 8-1/2 year clinical experience with surgery for atrial fibrillation.* Ann Surg 1996;224:267-75.
3. Lee JW, Choo SJ, Kim KI, et al. *Atrial fibrillation surgery simplified with cryoablation to improve left atrial function.* Ann Thorac Surg 2001;72:1479-83.
4. Gillinov AM, Blackstone EH, McCarthy PM. *Atrial fibrillation: current surgical options and their assessment.* Ann Thorac Surg 2002;74:2210-7.
5. Cox JL. *Intraoperative options for treating atrial fibrillation associated with mitral valve disease.* Semin Thorac Cardiovasc Surg 2001;121:212-5.
6. Mohr FW, Fabricius AM, Falk V, et al. *Curative treatment of atrial fibrillation with intra-operative radiofrequency ablation.* J Thorac Cardiovasc Surg 2002;123:914-27.
7. Schuetz A, Schulze CJ, Sarvanakis KK, et al. *Surgical treatment of permanent atrial fibrillation using microwave energy ablation: a prospective randomized clinical trial.* Eur J Cardiothorac Surg 2003;24:475-80.
8. Hoyt RH, Huang SK, Marcus FI, Roger S. *Factors influencing trans-catheter radiofrequency ablation of the myocardium.* J Appl Cardiol 1986;1:469-86.
9. Wittkampf FH, Hauer RN, Robles de Medina EO. *Control of radiofrequency lesion size by power regulation.* Circulation 1989;80:962-8.
10. Ring ME, Huang SKS, Gorman G, Graham AR. *Determinants of impedance rise during catheter ablation of bovine myocardium with radiofrequency energy.* PACE Pacing Clin Electrophysiol 1989;12:170-6.
11. Haines DE, Verow AF. *Observation on electrode-tissue interface temperature and effect on electrical impedance during radiofrequency ablation of ventricular myocardium.* Circulation 1990;82:1034-8.
12. Xie B, Heald SC, Camm AJ, Rowland E, Ward DE. *Radiofrequency catheter ablation of accessory atrioventricular pathways: primary failure and recurrence of conduction.* Heart 1997;77:363-8.
13. Thomas SP, Wallace EM, Ross DL. *The effect of a residual isthmus of surviving tissue on conduction after linear ablation in atrail myocardium.* J Interv Card Electrophysiol 2000;4:273-81.
14. Hoenicke EM, Strange RG, Patel H, Prophet GA, Damiano RJ. *Initial experience with epicardial radiofrequency ablation catheter in an ovine model: moving towards an endoscopic maze procedure.* Surg Forum 2000;81:79-82.
15. Gillinov AM, Pettersson G, Rice TW. *Esophageal injury during radiofrequency ablation for atrial fibrillation.* J Thorac Cardiovasc Surg 2001;122:1239-40.
16. Nakagawa H, Yamanashi WS, Pitha JV, et al. *Comparison of in vivo tissue temperature profile and lesion geometry for radiofrequency ablation with a saline-irrigated electrode versus temperature control in a canine thigh muscle preparation.* Circulation 1995;91:2264-73.

=국문 초록=

배경: 심방세동의 수술적 치료 방법인 미로술식에 있어 고주파에너지를 이용한 절제술은 전통적인 절개 및 봉합술(cut and saw) 또는 냉동절제술(cyroablation)에 비해 술 후 동율동의로의 전환율이 낮은 것으로 알려져 있다. 이는 절제술 시 심방벽(atrial wall)과 도자 간의 접촉이 원활하지 않아 심방의 전층에 걸쳐 고주파 에너지가 전달되지 않기 때문인 것으로 생각된다. 이에 고주파 절제시 심방과 도자 간의 접촉을 원활하게 하기 위한 기구를 개발하였으며 동물실험을 통하여 그 임상적인 효과를 관찰하고자 하였다. **대상 및 방법**: 60 kg 내외의 돼지 10마리를 대상으로 하였다. 우심방이 첨부로부터 3～4 cm 하방의 심방외벽에 고주파에너지를 가하여 우심방이가 우심방에서 완전히 분리되도록 원형의 병변(circumferential lesions)을 만들었다. 이때 실험군(n=5)에서는 새로 고안한 기구를 이용하여 도자를 심방벽에 완전히 밀착시킨 후 고주파 에너지를 가하였으며, 대조군(n=5)에서는 이러한 기구의 사용 없이 통상적인 방법으로 에너지를 가하였다. 고주파절제술이 끝난 후 우심방이 첨부에 인공심장박동 전극을 설치하고 심박동을 유발하여 고주파 절제부위 이하로 심박동이 전달되는지를 관찰하여 절제술의 성공 여부를 판단하였다. 또한 심방조직에 대해 조직학적 검사를 시행하여 심외막, 심근, 그리고 심내막층에 고주파에너지에 의한 열손상의 생성 유무를 관찰하였다. **결과**: 실험군에서 5예, 대조군에서 3예 등 총 8예에서 심박동의 전달 차단(conduction block)이 관찰되었으며 조직학적 검사 소견상 심내막(endocardium)에서 탄성섬유(elastic fiber)의 소실과 급성 염증세포의 축적 등 급성 열손상의 소견이 관찰되었다. 한편 심박동의 전달 차단이 관찰되지 않았던 대조군의 2예에서는 심내막이 정상으로 나타났다. 또한 기관 및 식도에 대한 조직학적 검사에서 열손상에 의한 병변은 관찰되지 않았다. **결론**: 고주파에너지에 의한 절제술 시 심방의 전층에 병변을 만들기 위해서는 심장과 도자 간의 접촉이 가장 중요한 인자로 생각된다. 본 연구에서 새로 개발한 기구는 고주파에너지를 이용한 도자절제술 시 심장과 도자 간의 확고한 접촉을 유도하여 심방 전층에 병변을 만드는 데 매우 효과적이었으며 이러한 기구의 사용은 향후 고주파에너지를 이용한 미로술식의 성적향상에 도움이 될 것으로 사료된다.

중심 단어 : 1. 고주파에너지
2. 부정맥 수술