Original Articles Korean Circulation J 2000;30(2):153-165

심방빈맥의 고주파 전극도자 절제술

연세대학교 의과대학 심장혈관센터 심장내과학교실
안신기 · 이문형 · 편욱범 · 김성순

Radiofrequency Catheter Ablation of Atrial Tachycardia

Shinki Ahn, MD, Moon Hyoung Lee, MD, Wook Bum Pyun, MD and Sung Soon Kim, MD
Cardiology Division, Yonsei Cardiovascular Center, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Radiofrequency catheter ablation (RFCA) has been established as an effective and safe treatment modality for atrioventricular nodal reentrant tachycardia and WPW syndrome. Surgical ablation or direct current catheter ablation had been performed to cure focal atrial tachycardia (AT), however, these treatments had limitations such as the need of open thoracotomy or the risk of barotrauma. RFCA could be an effective treatment modality for cure of AT. We performed RFCA for AT in 22 patients (male 13, mean age 38.1±15.4 years) among 831 patients who underwent electrophysiologic study between Jul. 1996 and May. 1999. Clinical pattern of tachycardia was paroxysmal (17 patients) or incessant (mean duration of symptoms, 41.1±42.3 months). Associated cardiac diseases were tachycardia-mediated cardiomyopathy (3 patients), aortic stenosis (1 patient) and ventricular septal defect with pulmonic stenosis (1 patient). AT was induced by programmed electrical stimulation in 17 patients ; AT in the other 5 patients was incessant. The RFCA was successful in 17 patients (77.3%). The mean interval between atrial electrogram of mapping catheter and P wave of surface ECG was -53.5±24.9msec in 17 successful sites. Fractionated atrial activities were invariably found in the successful sites. Successful sites of RFCA for right AT were around coronary sinus ostium (5), crista terminalis (4), lower portion of sinus node (1), inferior portion of tricuspid annulus (1), and His area (1), respectively. In left AT, lateral portion near atrioventricular groove (2), inferoposterior portion (2) and near left atrial appendage (1) were successful site. During follow-up (mean 23 months), one patient had recurrence (recurrence rate 5.9%). RFCA for AT is an effective and curative treatment in selected cases. **(Korean Circulation J 2000;30(2):153-165)**

KEY WORDS : Atrial tachycardia · Radiofrequency catheter ablation.

서 론

고주파 전극도자 절제술은 WPW 증후군, 방실결절 회귀성 빈맥과 같은 상심실성 빈맥에 있어서 안전하고 효과적인 치료법으로 확립되었다.[1-4] 심방빈맥(atrial tachycardia)은 다른 상심실성 빈맥에 비해 발생빈도가 상대적으로 적으나 Fontan술과 같은 선천성 심질환에 대한 교정수술을 받은 환자들의 장기 생존률이 증가함에 따라 이 환자들에서 후기 합병증으로서 심방빈맥의 발생이 증가되고 있는 실정이다.[5] 다른 상심실성 빈맥에 비해 빈맥과 연관된 심근증이 잘 발생하는 특징이 있는[6] 심방빈맥의 예후는 그 기전과 심장의 기저 질환

논문접수일 : 1999년 9월 15일
심사완료일 : 1999년 12월 22일
교신저자 : 김성순, 120-752 서울 서대문구 신촌동 134
연세대학교 의과대학 심장혈관센터 심장내과학교실
전화 : (02) 361-7071 · 전송 : (02) 393-2041
E-mail : kimss2866@yumc.yonsei.ac.kr

의 유무 또는 그 진행 정도에 따라 다양하다고 할 수 있다.

심방빈맥의 치료 방침은 그 발생빈도나 지속시간 그리고 혈역학적인 반응에 따라 다양하며 일차적으로 약제를 선택할 수 있으나 이에 대한 반응이 좋지 않은 경우에 완치술로서 전극도자 절제술이 시도되고 있다. 전극도자 절제술의 에너지원이 직류 전류에서 고주파 전류로 대체됨에 따라 국소적인 부위만을 선택적으로 파괴할 수 있어 안전하게 시술할 수 있게 되었다. 3차원 지도화와 같은 지도화기법의[7] 발전으로 전극도자 절제술의 성공률이 향상되어 점차 적극적으로 시도되고 있는 실정이다. 나아가 심방빈맥이 심방세동을 초래하는 원인이 될 수 있고 심방빈맥을 절제하므로써 심방세동의 재발을 성공적으로 예방할 수 있다는 결과가 보고됨에 따라 심방빈맥의 절제술의 필요성은 더욱 고무되고 있는 실정이다.[8] 국내에는 아직 심방빈맥의 전극도자 절제술에 대한 보고가 없었기에 그간 저자 등이 경험한 심방빈맥의 고주파 전극도자 절제술의 성적에 대하여 보고하고자 하였다.

대상 및 방법

대상환자

1996년 6월부터 1999년 5월까지 연세심장혈관센터 심장내과에 내원하여 전기생리학 검사를 시행하고 심방빈맥으로 진단되어 전극도자 절제술을 시행받았던 22명을 대상으로 하였다. 동 기간에 전기생리학 검사를 받았던 831명 중 심방빈맥이 존재하였던 경우는 51예였으나 임상적으로 뚜렷한 증상이 있으면서 지속적인 심방빈맥이 기록되었거나 증상이 동반된 심방빈맥이 안정적으로 유도, 유지되었던 24예에서 전극도자 절제술을 시행하였다. 24예 중 2예는 발작성 심방세동과 연관되었던 경우로서 심방빈맥시의 P파의 양상이 안정적이지 않았으므로 분석에서 제외하였다.

Table 1. Clinical characteristics of 22 patients with atrial tachycardia

Case	Age / Sex	Duration (month)	Pattern of tachycardia	Cardiac disease	Clinical diagnosis
1	36/M	120	Incessant	-	AT
2	33/M	8	Paroxysmal	-	AVRT, AT
3	52/F	12	Paroxysmal	-	AVNRT
4	51/F	9	Paroxysmal	-	AVNRT
5	40/M	12	Paroxysmal	-	AT
6	58/F	36	Paroxysmal	-	AVNRT
7	50/F	36	Incessant	t-CMP	AT
8	14/M	36	Paroxysmal	-	AT
9	34/F	84	Paroxysmal	-	AT
10	62/M	36	Paroxysmal	-	AVRT
11	50/M	14	Incessant	-	AT
12	24/M	12	Paroxysmal	-	WPW*
13	55/M	120	Paroxysmal	-	AT
14	28/M	8	Paroxysmal	-	AT
15	31/F	36	Paroxysmal	-	AVRT
16	28/M	120	Incessant	-	AT
17	11/M	5	Incessant	VSD, PS s/p op	AT
18	40/M	2	Paroxysmal	AS	AT
19	38/F	48	Paroxysmal	-	AVRT
20	19/F	14	Paroxysmal	t-CMP	AT
21	63/M	17	Paroxysmal	t-CMP	WPW, Afib, AT
22	22/M	120	Paroxysmal	-	AVRT

*A case with ventricular preexcitation and typical symptom of tachycardia
Afib ; atrial fibrillation, AS ; aortic stenosis, AT ; atrial tachycardia, AVNRT ; atrioventricular nodal reentrant tachycardia, AVRT ; atrioventricular reentrant tachycardia, PS ; pulmonic stenosis, t-CMP ; tachycardia-mediated cardiomyopathy, VSD ; ventricular septal defect, WPW ; Wolff-Parkinson-White syndrome

환자(남자 13명, 여자 9명)의 평균 연령은 38.1±15.4세(11 63세)였으며 증상의 이환 기간은 평균 41.1±42.3개월(2 120개월)이었다. 동반된 심장질환으로는 빈맥과 연관된 심근증 3예, 선천성 심질환(심실중격결손증 및 폐동맥판 협착증) 1예와 퇴행성 변화에 의한 대동맥판 협착증 1예가 있었으며 나머지 17예는 구조적인 심장질환은 동반되지 않았다(Table 1).

22예 중 안정시 심전도에서 심실조기흥분의 소견이 있으면서 빈맥과 연관된 뚜렷한 증상이 있으나 증상이 있을 때 심전도를 기록하지 못하였던 1예를 제외한 나머지 전 예에서 빈맥시 심전도가 기록되었다. 17예의 환자는 심방빈맥이 간헐적으로 발생하였던 소위 발작성 빈맥(paroxysmal tachycardia)이었고 나머지 5예는 심방빈맥이 종료되지 않거나 주로 심방빈맥 상태로 존재하는 지속성 빈맥(incessant tachycardia)의 양상이었다. 전기생리학 검사 전의 표면심전도 분석을 통한 부정맥 진단은 심방빈맥 14예, 방실회귀성 빈맥 5예, 방실결절회귀성 빈맥 3예, 심방세동이 동반된 1예를 포함한 WPW 증후군이 2예였다(Table 1).

전기생리학 검사(Electrophysiologic study)

환자들은 전기생리학 검사에 대해 충분한 설명을 들은 후 서면으로 동의하였으며 항부정맥 약제를 사용한 경우에는 반감기의 5배 이상의 기간 전부터 중단하고 시술 12시간 전부터 금식한 상태에서 시행하였다. 전기생리학검사 방법은 저자 등이 보고한 것과 같은 방법으로 진행하였는데[9] 약술하면 혈관에 유도관을 삽입한 후 4극도자(quadripolar catheter)를 히스 속, 우심실에 위치시키고 관상정맥동에는 10극도자(decapolar catheter)를 위치시켰다. 우심방에는 증례에 따라 4극도자, 10극도자 혹은 20극이 있는 Duo-Deca 전극도자(St. Jude Medical, Daig, Minnetonka, MN, USA)를 위치시켰다. Heparin을 3,000 U 정주한 후 매 1시간마다 1,000 U씩 보충하였다. 1 msec의 자극 시간 간격에서 확장기 심박조율 역치를 측정하여 적어도 1 mA 이하가 되는 부위를 적절한 전극도자의 위치로 선정한 후 확장기 심박조율 역치의 2배로 계획심자극을 시행하였다. 심박조율주기를 점차로 줄여 심박수를 증가시키는 심박조율법(incremental pacing)과 기외자극법(extrastimulation)을 심실 및 심방에서 시행하였다. 심장 전기전도계의 전기전도시간 및 불응기를 측정하였고 심방빈맥의 유도 여부를 평가하였다. 빈맥이 유도되었을 때는 빈맥을 유도할 수 있었던 자극기법을 반복하여 빈맥이 잘 재현되는지 여부를 확인하였다. 빈맥이 지속적으로 유지되었던 경우에는 계획심자극으로 빈맥이 종료되는지를 평가하였다. 필요에 따라 빈맥의 유도나 안정적인 빈맥의 유지를 위하여 isoproterenol(분당 0.5 1 μg)을 선택적으로 사용하였다. 검사 중의 표면 심전도와 심내 심전도는 광자기 디스크(optical disc)에 선택적으로 저장하였다(Quinton, EP Lab System, Ontario, Canada 또는 Pruoka, Cardio Lab EP 4.0, Houston, Texas, USA).

심방빈맥의 전기생리학적 진단 기준은 보고된 바와 같이 (1) P파의 모양과 심내 전기도상 심방의 흥분 양상이 동율동시와 뚜렷하게 다르고 (2) 빈맥의 유도와 유지가 방실결절의 전기전도에 영향을 받지 않으며 (3) 다른 빈맥의 기전으로 우회로의 존재나 방실결절 회귀성 빈맥 그리고 심방조동의 가능성을 배제할 수 있는 경우로 적용하였으나[10] 동방결절회귀성 빈맥(sinoatrial reentrant tachycardia)은 심방의 흥분 양상이 동율동시의 흥분 양상과 동일하나 계획심자극에 의해 유도, 종료되는 경우로 정하였다.[11] 심방빈맥의 기전이 회귀성 기전인가 아니면 증가된 자동능이나 방아쇠성 활동(triggered activity)에 의한 것인가를 정확히 구별할 수는 없으나 심방빈맥이 계획심자극에 의하여 유도, 중단되는 경우에는 회귀성 기전에 의한 것으로 정의하였고 그렇지 않은 경우에는 증가된 자동능(increased automaticity)에 의한 심방빈맥으로 분류하였다.[11]

원발 병소의 지도화(Mapping for the focus of atrial tachycardia)

심방빈맥의 원발 병소를 찾기 위한 지도화(mapping)는 심방빈맥이 발생하였을 때 표면심전도의 P파의 파형과 우심방, 히스속 부위, 관상정맥동 부위의 심내막 국소전기도의 심방활성의 양상을 일차적으로 분석하여 개략적인 부위를 파악한 후 예측되는 심방에 절제전극도자를 삽입하여 자세한 지도화를 시도하였다. 즉 좌, 우심방 중 어느 쪽인지 그리고 상, 하부 심방 중 어느 부위인지를 대별하여 예측한 후 절제전극도자를 예상되는 부위에 위치시키어 심방빈맥 중에 절제전극도자를 이동시키면서 절제전극도자에서 기록된 심방의

국소 전기도(atrial electrogram, A)와 표면심전도 P파의 기시점과의 간격(AP interval)을 측정하여 그 간격이 가장 긴 곳을 찾고자 하였다. P파가 QRS파 또는 T파에 가리워 잘 발견할 수 없는 경우에는 심실기외자극을 시행하여 방실 차단을 유도한 후 P파를 확인하거나 심내 심전도상 가장 조기에 나타나는 심방 전기도를 기준으로 하였다. 전기생리학 검사시 표면심전도 유도는 I, aVF 및 V1을 관찰하였으나 다른 유도에서 P파의 관찰이 용이하였던 경우에는 이를 기준으로 하였다(Fig. 1).

고주파 전극도자 절제술(Radiofrequency catheter ablation)

전극도자 절제술을 위해 HAT 300®(Osypka - GmbH, Germany) 및 ATAKR®(Medtronic, Cardiorhythm, San Jose, CA, USA) 고주파 전류발생기를 사용하였으며 절제전극도자로는 SteeroCath®(Boston Scientific Corp., EP Technologies, Sunnyvale, CA, USA), Marinr® (Medtronic, Cardiorhythm, San Jose, CA, USA), Livewire®(St. Jude Medical, Daig, Minnetonka, MN, USA) 등을 사용하였다. 전류의 방출은 고정된 출력을 사용하는 방법과 온도감응형 방법을 사용하였다. 지도화 소견상 AP 간격이 가장 길어서 원발병소라고 판단되는 소견이 있으면 고주파 전류를 방출하였으며 10초 이내에 심방빈맥이 종료되면 성공적인 위치로 판단하여 45초간 전류를 방출하였고 종료되지 않은 경우 원발 병소가 아닌 것으로 판단하여 전류 방출을 중단하고 다른 부위의 지도화를 시도하였다.

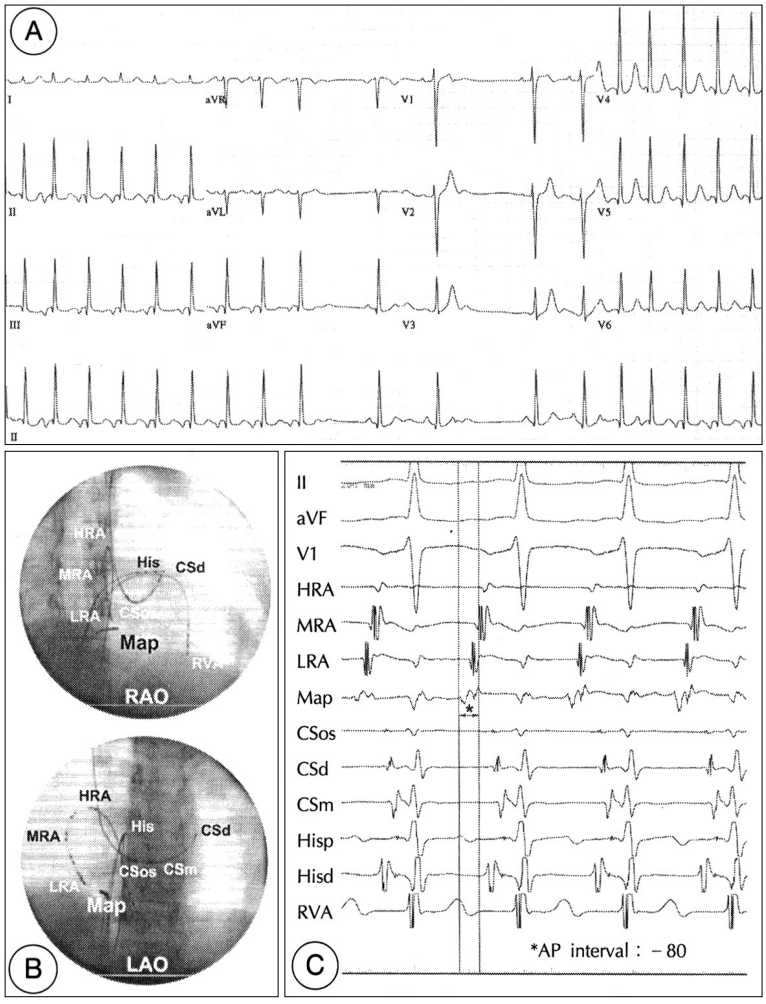

Fig. 1. Mapping for the focus of AT in the case 15. Surface ECG (A) showed a positive P wave in aVL lead and negative P waves in II, III, aVF leads, which suggested the origin of AT was around inferior portion of right atrium (RA). Two decapolar catheters were placed in RA and coronary sinus (CS), 2 quadripolar catheters in His, right ventricular apex (RVA) and a mapping catheter (Map). In intracardiac electrograms, the atrial activity of low RA (LRA) was earlier than His and proximal portion of CS (CSos). Mapping catheter showed fractionated atrial electrogram, which was earlier than those of the other atrial activities. AT was terminated at this site by RF current.

결 과

심방빈맥의 특성

22예 중 17예에서 빈맥의 유도와 종료가 가능하였다. 16예에서는 계획심자극에 의해 유도되었으며 1예(증례 22)는 후중격에 위치한 우회로를 절제하고 난 후 발생한 방실접합부일탈박동에 의해 반복적으로 유도되었고 우심방 심박조율에 의해 종료되었다. 나머지 5예의 환자들은 계획심자극에 의해 빈맥이 영향을 받지 않고 지속되거나 자발적으로 발생하는 양상을 보여 이 환자들은 자동능에 의한 심방빈맥으로 정의하였다. 유도된 심방빈맥의 평균 주기는 375±63 msec(210 490 msec)였다. 22예 중 12예(54.5%)에서 심방빈맥의 유도 또는 안정화를 위해 isoproterenol을 사용하였다(Table 2).

동반된 부정맥으로는 우회로가 존재하였던 예가 4예(발현성 우회로 2예, 불현성 우회로 2예), 방실결절회귀성 빈맥 3예 그리고 심방조동이 1예가 있었다. 그 외에 방실결절회귀성 빈맥은 유도되지 않았으나 방실결절에 이중전도생리를 보인 경우가 2예 있었다. 우회로가 존재하였던 4예 중 우회로를 경유한 방실회귀성 빈맥이 유도되었던 경우가 3예 있었다. 방실회귀성 빈맥이 유도되지 않았던 1예는 좌측에 존재하는 발현성 우회로로서 임상적으로 뚜렷한 빈맥증상이 있으나 빈맥시 심전도를 기록하지 못한 경우(증례 12)였는데 전기

Table 2. Findings of electrophysiologic study in 22 patients with atrial tachycardia

Case	Iuducibility / PES (Iso)	Coexisting arrhythmia	TCL (msec)	Map-to-A Interval	Site / Approach	RF (success/ total)	Result	Follow-up (month)
1	No/Incessant (-)	-	360	- 20	RA (CSos)/IVC	0/19	F	
2	Yes/SAEST (-)	CBT	480	- 50	LA (AVG, lateral)/TA	2/ 4	S	NR (38)
3	Yes/SAEST (-)	AVNRT, AFL	300	- 30	RA (CT)/IVC	7/10	S	NR (35)
4	Yes/DAEST (-)	AVNRT	380	- 40	RA (CT)/IVC	6/ 7	S	NR (35)
5	Yes/SAEST (+)	DAVNP	360	- 45	RA (CSos)/IVC	2/ 4	S	NR (35)
6	Yes/SAEST (+)	-	340	- 20	RA (Septum)/IVC	0/14	F	
7	No/Incessant (-)	-	400	- 75	LA (Lateral)/TS	4/ 8	S	NR (32)
8	Yes/SAEST (-)	-	460	- 50	LA (AVG, lateral)/PFO	2/ 4	S	NR (31)
9	Yes/SAEST (+)	-	440	- 70	RA (CSos)/IVC	29/32	S	NR (28)
10	Yes/TAEST (+)	-	340	- 30	RA (Septum)/IVC	0/21	F	
11	No/Incessant (+)	-	360	- 60	RA (CSos)/IVC	1/ 5	S	NR (28)
12	Yes/SAEST, RAP (+)	WPW	370	- 70	LA (UPV)/TA	0/25	F	
13	Yes/SAEST (+)	-	490	- 40	RA (SAN)/IVC	1/ 4	S	NR (26)
14	Yes/SAEST (+)	-	210	- 30	LA (Inferoposterior)/TA	1/ 4	S	NR (25)
15	Yes/SAEST, RAP (+)	-	390	- 80	RA (CSos)/IVC	16/19	S	NR (24)
16	No/Incessant (-)	-	410	- 20	LA (UPV)/TS	0/12	F	
17	Yes/SAEST, RAP (-)	-	360	- 50	RA (Lateral, scar)/IVC	12/22	S	NR (24)
18	Yes/SAEST, RAP (-)	-	420	- 70	RA (CSos)/IVC	8/ 9	S	R (18)
19	Yes/SAEST, RAP (+)	DAVNP	370	- 35	RA (His)/IVC	17/19	S	NR (7)
20	No/Spontaneous (+)	-	380	- 30	RA (CT)/IVC	13/15	S	NR (5)
21	Yes/SAEST, RAP (+)	WPW, Afib	310	- 30	LA (Inferior septum)/TA	1/ 2	S	NR (3)
22	Yes/JEB (-)	CBT, AVNRT	320	- 125	RA (Inferior TVA)/IVC	7/11	S	NR (2)

Afib ; atrial fibrillation, AVG ; atrioventricular groove, AVNRT ; atrioventricular nodal reentrant tachycardia, CBT ; concealed bypass tract, CSos ; ostium of coronary sinus, CT ; crista terminalis, DAVNP ; dual atrioventricular nodal physiology, Iso ; isoproterenol, IVC ; inferior vena cava, JEB ; junctional escape beat, LA ; left atrium, NR ; no recurrence, PES ; programmed electrical stimulation, PFO ; patent foramen ovale, R ; recurrence, RA ; right atrium, RAP ; rapid atrial pacing, SAEST ; single atrial extrastimulus, SAN ; sinoatrial node, TA ; transaortic, TAEST ; triple atrial extrastimuli, TS ; transseptal, UPV ; upper pulmonic vein, WPW ; Wolff – Parkinson – White syndrome

생리학검사 결과 우회로를 경유한 역행전도는 없었으며 심방에서 심실로의 전도만이 가능하였다. 22예의 환자 중 두 가지 이상의 다른 부정맥 기전을 보인 예는 6예였으며 이 환자들의 전기생리학 검사에서 유도된 부정맥은 Table 3과 같다.

두 가지 이상의 서로 다른 부정맥이 공존하는 경우에 한 부정맥이 다른 부정맥으로 전환되는 현상도 관찰할 수 있었다(Fig. 2).

지도화 및 전극도자 절제술 결과

지도화 및 전극도자 절제술을 시행한 결과 22예의 환자 중 17예에서 심방빈맥이 성공적으로 절제되었다(77.3%). 고주파 전류의 방출은 평균 12.3회(12.3±8.3회)였다. 성공한 17예에서 성공하기까지 평균 7.6회의 고주파 전류 방출이 있었다(Table 2).

성공적으로 심방빈맥이 절제되어 그 원발 병소가 확인되었던 경우의 AP 간격은 평균 -53.5±24.9 msec였으며 적어도 절제전극도자에서 기록된 심방의 전기도가 30 msec이상 빨리 기록되었다. 절제전극도자에서 기록된 원발 병소의 심방 전기도는 특징적으로 분획화(fractionated)되어 있는 소견을 보였다(Fig. 3). 확인된 원발병소의 분포는 우심방이 12예, 좌심방이 5예였으며 각각의 분포를 자세히 살펴보면 분계능(crista terminalis)을 중심으로 하는 우심방의 측벽에서 기원하는 경우가 5예, 관상정맥동 주변에서 기원하였던 경우가 5예, 삼첨판 주변부위로서 하부에서 기원하였던 예가 1예, 그리고 방실결절 직상부의 심방에서 기원하였던 1예가 있었다. 좌심에 위치하였던 5예 중 2예는 절제전극도자에서 심실의 심내 전기도가 같이 기록되는 방실접합구 주위의 측벽에서 기원하였고 2예는 좌

Table 3. Clinically documented and induced arrhythmias in 6 patients with multiple arrhythmias

Case	Documented	Induced	Treatment	Result
2	AVRT, AT	AVRT utilizing left lateral concealed AP, AT	RF ablation of AP and AT	Sucsess
3	AVNRT	AVNRT, AT, AFL(typical)	RF ablation of AT, AFL and RF modification of AVN	Sucsess
4	AVNRT	AVNRT, AT	RF ablation of AT, and RF modification of AVN	Sucsess
12	Ventricular preexcitation	Manifest left lateral AP without VA condction, AT	Catheter entrapment	Fail
21	WPW with Afib, AT	AVRT with manifest dual AP, AT	RF ablation of APs and AT	Sucsess
22	AVRT	AVRT utilizing posteroseptal concealed AP, AT, AVNRT with VAD	RF ablation of CBT, AT and RF modification of AVN	Sucsess

Afib ; atrial fibrillation, AFL ; atrial flutter, AP ; accessory pathway, AVNRT ; atrioventricular nodal reentrant tachycardia, VA ; ventriculoatrial, VAD ; VA dissociation, WPW ; Wolff-Parkinson-White syndrome

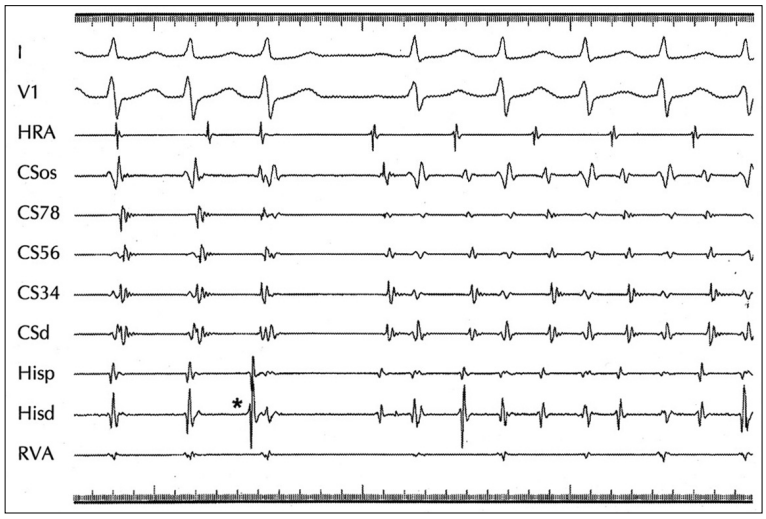

Fig. 2. Atrioventricular nodal reentrant tachycardia was terminated by a premature atrial activity (*) originated from His area (Hisd) and was followed by AT (Case 4). The earliest atrial activity was HRA in this recording. The AT was terminated at the lateral portion of RA around crista terminalis.

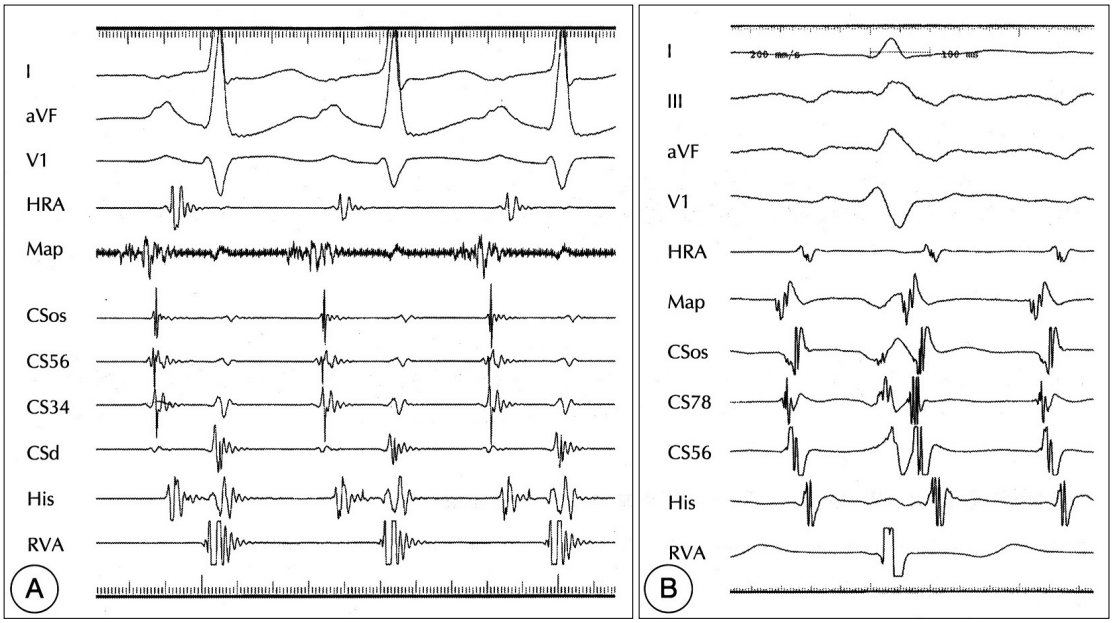

Fig. 3. Fractionated atrial electrogram recorded at successful sites. In panel A (recorded by EP Lab system of Quinton in the case 7), atrial electrogam at successful site (Map) was markedly fractionated and distinctively earlier than the beginning of P wave of surface ECG. This prolonged, fractionated activity with low amplitude suggested the presence of slow conduction zone of AT focus. The atrial activity of Map in Panel B (recorded by Cardio Lab EP 4.0 in the case 14) was significantly earlier than surface P wave (AP interval ; - 30 msec) and was fractionated without low amplitude signal. Sometimes, it is difficult to determine the beginning point of P wave in surface ECG because P waves were frequently merged into T wave or QRS complex.

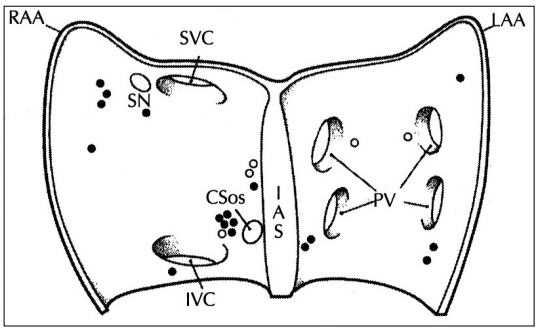

Fig. 4. Origin of AT in 17 successful patients. In right AT, 5 cases were around cristal terminalis including 1 case of sinoatrial reentrant tachycardia, 5 cases around CSos, 1 case just above the His, and 1 case at inferior portion of TVA. In left AT, 2 cases were at inferior-posterior portion of LA, 2 cases at lateral portion near AV groove and 1 case at free wall near left atrial appendage (LAA). (● ; successful, ○ ; failed, IAS ; interatrial septum, IVC ; inferior vena cava, PV ; pulmonic veins, RAA ; right atrial appendage, SN ; sinus node, SVC ; superior vena cava)

심방의 후하부에서 기원하였다. 나머지 1예는 좌심방이(left atrial appendage) 근처의 자유벽에서 기원하였다(Fig. 4).

절제전극도자의 접근로는 우심방 빈맥의 경우는 전례에서 하대정맥을 사용하였으며 좌심방 빈맥의 경우에는 대동맥을 경유한 역행성 접근을 시도한 예가 4예, 심방중격을 경유한 예가 3예(심방중격천자술 2예, 난원창개존증 1예) 있었다.

전극도자 절제술에 실패하였던 5예의 경우는 평균 AP간격이 -32.0±21.7 msec였다. 관상정맥동 입구, 우심방쪽의 심방중격, 그리고 좌심방의 폐정맥구 주위에서 시도하였는데 4예에서는 AP간격이 30 msec 이내였다(평균 AP 간격 -22.5±5.0 msec). 나머지 1예(증례 12)는 대동맥을 경유한 역행성 접근법으로 절제전극도자를 좌심방에 위치시켜 좌상폐정맥(left upper pulmonary vein) 근처에서 지도화 및 절제술을 시도하였는데 AP간격이 -70 msec인 부위에서 고주파 전류를 방출하였을 때 심방빈맥이 종료되었다가 다시 재발하는 양상을 보였다. 자세한 지도화, 과정 중 절제전극도자가 승모판의 건삭(chordae)에 걸리어 빠지지 않아 더 이상 지도화를 진행하지 못하였고 개흉술을 시행하여 절제전극도자를 제거하였다.

두 가지 이상의 부정맥의 기전을 보인 6예의 환자에서 부정맥을 유발하는 해부학적인 기질(substrate)에 대한 전극도자 절제술을 동시에 시행하였다. 우회로로 인한 방실회귀성 빈맥이 동반되었던 3예에서 확인된 4개의 우회로는 모두 성공적으로 절제되었으며 방실결절회귀성 빈맥이 동반되었던 3예 모두 성공적인 방실결절 변조술을 시행하였다. 방실결절회귀성 빈맥은 유도되지 않았으나 방실결절의 이중전도생리를 보였던 2예 중 1예에서 빠르지 않은 맥박수에서도 완속 전도로로 전기전도가 이루어지는 소견이 있어 완속 전도로에 대한 선택적인 절제술을 시행하였다(증례 19). 전형적인 유형의 심방조동이 존재하였던 1예에서 심방조동의 재발방지를 위한 협부 절제술도 성공적으로 이루어졌다(증례 3).

성공적으로 절제된 17명의 평균 23개월간의 추적관찰기간 중 1예(증례 18)에서 심방빈맥의 재발이 있었는데 재발 예는 대동맥판 협착증이 있었던 경우로서 심방빈맥에 대한 전극도자 절제술 후 임상적인 재발은 없었으나 대동판 치환술 중 전극도자 절제술을 시행하였던 부위에 압박을 가하면 심방빈맥이 오는 소견이 관찰되어 이를 절제할 목적으로 냉동절제술(cryoablation)을 동시에 시행하였으며 그 후 빈맥의 재발은 없었다. 이상의 결과로 볼 때 치료의 의도를 가지고 절제술을 행하였던 22명중 16명에서 전극도자 절제술로서 부정맥의 재발 없이 완치되었으며(72.7%) 수술 중에 시행한 냉동 절제술의 결과를 포함한 임상적인 최종 완치율은 77.3%(17/22명)이었다.

고 찰

심방빈맥은 상심실성 빈맥의 중요한 원인 중의 하나이나 상심실성 빈맥의 8 11% 정도로서[12] 그 빈도가 상대적으로 낮은 질환이다. 소아 연령에 있어서는 성인에 비해서 상대적으로 빈도가 높으며 특히 선천성 심질환의 교정술 후의 후기 합병증으로서 잘 발생하는 것으로 알려져 있다.[6] 성인의 경우에도 구조적인 심장질환에 동반되는 경우가 많은 것으로 알려져 있다. 이는 심장 수술 후의 심방내 반흔(scar)을 중심으로 회귀회로가 형성되거나 혹은 구조적인 심질환이 심방 내에 지속적인 역학적 과부하를 주어 심방근의 구조적인 변화가 초래되어 심방빈맥이 발생할 수 있는 해부학적인 기질이 형성되기 때문일 것이다.[11)13)] 이렇듯 적지 않은 경우의 심방빈맥이 심방내 종괴나 수술 후 반흔 때문에 발생할 수 있으므로 심방빈맥이 있는 경우는 구조적인 심질환의 동반여부를 평가하는 것이 중요하다. 저자 등이 본 연구 기간에 시행한 831명의 전기생리학 검사 결과 심방빈맥이 있었던 환자가 51명(6.3%)이었고 그 중 24 명(2.9%)에서만 전극도자 절제술이 시행되었다. 이 시술예수는 다른 부정맥에 비해 빈도가 매우 낮은데 그 이유는 전극도자 절제술을 위해서는 심방빈맥이 안정적으로 유지, 유도되어야 하고 표면 심전도에서 P파가 확인할 수 있는 경우로 그 대상이 제한되기 때문으로 생각된다. 그러나 전극도자 절제술이 완치술이라는 점과 최근 심방빈맥이 심방세동의 발생과 연관되어 있어 심방빈맥을 절제함으로써 심방세동의 재발을 방지할 수 있었던 결과[8)14)] 등으로 심방빈맥의 절제술에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다. 또한 선천성 심질환의 교정수술과 연관된 심방빈맥의 발생이 늘어날 전망이고 이들의 경우 지도화 작업에 난점이 있으나 지도화기법의 발전을 고려하면 이들 환자도 전극도자 절제술의 적응이 될 수 있을 것이다.

심방빈맥이 발생하는 전기생리학적인 기전은 일반적으로 알려진 데로 회귀, 증가된 자동능 그리고 방아쇠성 활동에 의한 것으로 여겨지고 있으나 그 기전을 임상적 혹은 임상 전기생리학 검사 소견으로 명확히 구별하기는 어렵다. 임상적으로는 빈맥의 발생, 종료시의 양상을 통해 그 기전을 구별하는데 빈맥의 발생과 종료가 전격적이고 빈맥의 주기가 일정한 경우는 회귀성 기전에 의한 것으로 정의하며 빈맥이 계획심자극에 의해 영향을 받지 않고 지속적이며 발생과 종료시 빈맥 주기의 점진적인 변화를 보이는 경우에는 비회귀성 기전에 의한 것으로 구별한다.[11)15)]

심방빈맥의 심전도 진단은 동율동시의 P파와 뚜렷이 구별되는 다른 모양의 P파가 관찰되면서 빈맥의 유도 및 유지에 있어서 방실결절의 전기전도에 의존적이지 않은 소견이 있으면 가능하다. 즉 빈맥의 종료를 위해 경동맥을 압박하거나 verapamil과 같은 약제를 투여하였을 때 또는 빈맥 중에 심방률(atrial rate)은 유지되면서 방실 차단이 생길 때 심방빈맥으로 진단할 수 있다. 이러한 방실간의 전기전도는 심방률, 방실결절의 전도양상 등에 따라 달라질 수 있어 표면심전도의 심방과 심실간의 연관 소견이 다른 상심실성 빈맥처럼 보이

는 경우가 있다. 증례 20에서 기록된 빈맥시 12유도 심전도 소견을 보면 QRS파 뒤에 역행성 P파로 보이는 파형이 관찰되며 P파와 QRS파가 1 : 1 전기 전도의 양상을 보이고 RP간격이 PR간격보다 짧아서 우회로를 경유한 방실회귀성 빈맥에 합당한 소견이다(Fig. 5A). 그러나 빈맥의 종료를 위해 안구에 압박을 가하였을 때 방실 차단이 생겼으나 빈맥은 종료되지 않았고 P파는 일정한 간격으로 계속 진행되는 소견을 관찰할 수 있는데 이는 이 빈맥이 방실결절의 전기전도에 의존적이지 않다는 것을 의미하므로 방실결절의 전기전도가 필수적인 요소인 방실회귀성 빈맥이 아님을 알 수 있다(Fig. 5B and C).

심방빈맥의 치료 방침은 약물요법과 비약물 요법으로 나눌 수 있다. 약물 요법으로는 방실결절의 전기전도를 억제하여 심실의 맥박수를 조절하기 위해 digitalis, 베타차단제 및 칼슘통로 차단제 등을 사용할 수 있고 심방빈맥을 종료시켜 정상 심율동을 유지하기 위해 class I 혹은 class III의 항부정맥제를 사용할 수 있다. 항부정맥제 중 class III약물인 amiodarone의 경우에는 심방빈맥의 종료와 방실결절의 전기전도 조절을 동시에 할 수 있겠다. 방실결절의 전기전도를 조절하려는 치료는 심방빈맥을 그대로 방치하는 것이므로 이상적인 치료라고 할 수는 없고, 심방빈맥을 종료시켜 정상 심율동으로 전환하려는 약물 치료는 효과적인 경우일지라도 지속적으로 복용해야 하고 약물 복용에 따르는 부작용 등의 일반적인 제한점이 있을 수 있고 실제로 심방빈맥 재발 방지를 위한 항부정맥제의 효과가 좋지 않은 경우들이 보고되어 이러한 점들이 약물치료의 제한점이 되고 있다.[15]

비약물 요법으로는 심실의 맥박수를 조절하기 위해 전극도자 절제술 등으로 방실결절의 전기전도를 차단한 후 심박동기를 시술하는 방법과[16] 심방빈맥을 종료시키기 위해 원발병소를 개흉술 하에 수술적으로 제거하는 치료법 그리고 전극도자를 이용하여 원발 병소의

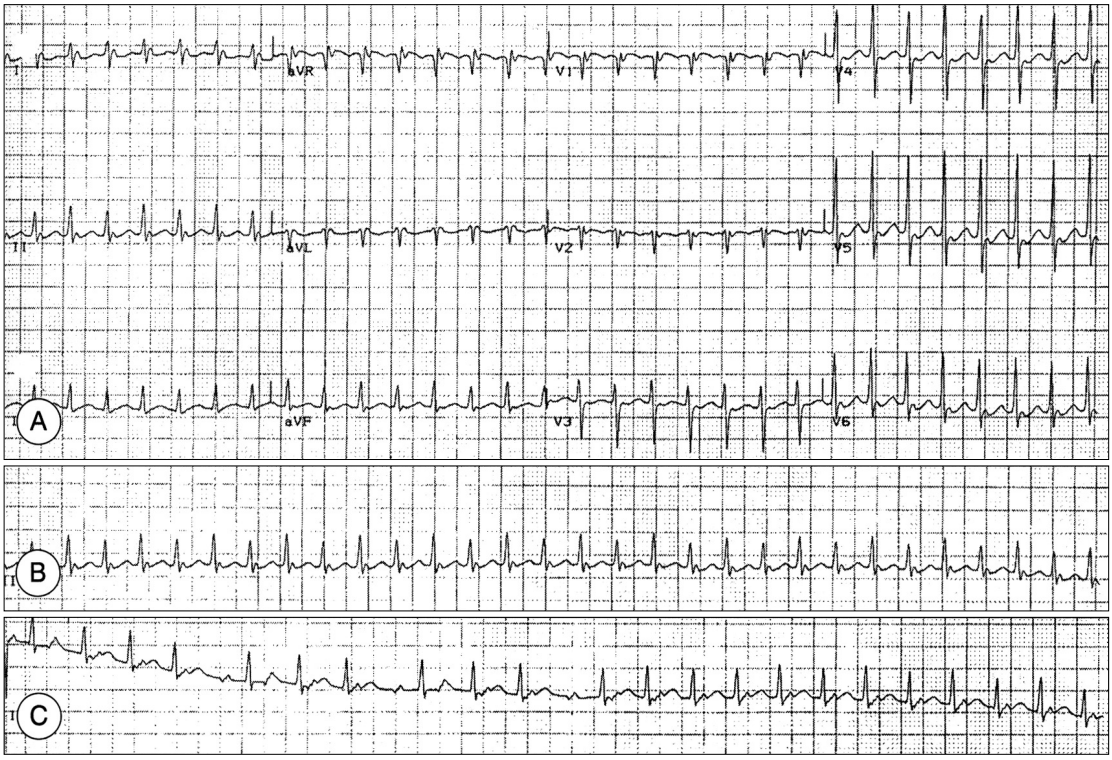

Fig. 5. AT mimicking atrioventricular reentrant tachycardia (AVRT) utilizing accessory pathway (Case 20). J point and beginnig of ST segment during tachycardia showed distinctive deflection, mimicking retrograde P wave (A). AV conduction block (C) was noted during eyeball compression from 1 : 1 AV relationship (B). However, the tachycardia was sustained. These findings suggested that this tachycardia was independent to AV nodal conduction. Therefore, AVRT could be ruled out.

절제술을 시행하는 방법 등이 완치가 가능한 치료라 할 수 있다.

약물치료에 반응을 하지 않는 경우에 심방빈맥의 절제를 목적으로 수술적인 절제술이 먼저 행해졌으며[17] 이 과정에 얻은 경험들이 전극도자를 통한 심방빈맥 절제술의 기초가 되었다. 처음의 전극도자 절제술은 방실결절을 차단하는 것이 주된 목적이었으나[16)18)] 차츰 심방빈맥의 원발병소를 제거하려는 쪽으로 전환되었으며 절제술을 위한 전원이 직류전류에서 고주파 전류로 전환됨에 따라 더욱 활발히 시행되게 되었다. 직류전원을 사용할 때에는 심방 내 반흔의 크기를 예측하기 어렵고 절제술 후 발생할 수 있는 심근의 기절현상(stunning) 때문에 심방빈맥이 더 이상 유도되지 않아 목표 부위가 부정확하여 원발 병소가 남아 있더라도 더 이상의 지도화 작업이 불가능한 경우가 있었으나 이에 비해 고주파 전류를 사용할 때에는 심방에 국소적인 손상만이 형성되므로 안전하고 정확하게 지도화 및 절제술 과정을 진행할 수 있기 때문이다.

심방빈맥의 전극도자 절제술에 있어서 가장 큰 제한점은 원발 병소를 찾기 위한 지도화 작업이 어렵다는 것이다. 그러므로 표면 심전도상의 P파의 파형을 잘 분석하여 심방빈맥의 발생 부위를 정확히 예측하는 것이 전극도자 절제술의 성적과 효율을 높일 수 있는 방법이 될 수 있다. Tang 등의 연구[19]에 의하면 심방빈맥이 기원하는 심방의 구별에 있어서 aVL 및 V1 유도가 유용한 지표인데 aVL 유도에서 양성이거나 등전위성(isoelectric) P파를 보이면 우심방에서 기원하는 빈맥일 가능성이 많고(예민도 88%, 특이도 79%), V1 유도에서 양성의 P파를 보이는 경우에는 좌심방에 기원하는 빈맥으로 예측할 수 있다고 하였다(예민도 93%, 특이도 88%). II, III, aVF 유도에서 음성의 P파를 보이는 경우에는 심방빈맥의 기원이 심방의 하부임을 알 수 있다고 하였다. 저자 등의 연구에서도 유사한 소견을 관찰할 수 있었는데 재발 예를 제외한 16예의 심전도 소견을 분석한 결과 좌심방에서 기원한 예는 aVL 유도에서 음성의 P파가 관찰되었고 우심방에서 기원한 예는 양성의 P파가 관찰되었다(Table 4). 하부에서 절제된 경우에는 II, III, aVF 유도에서 음성의 P파가 관찰되었다.

심방빈맥의 원발 병소를 확인하는 방법은 여러 가지가 있는데 첫째로 절제전극도자의 심방 전기도와 표면 심전도상의 P파의 기시부 사이의 간격(AP 간격)을 측정하는 것으로 저자 등의 경험에서 볼 때 성공적으로 절제된 부위의 심방 전기도는 표면 심전도의 P파보다 적어도 30 msec 이상 조기에 기록되었다. 이는 기존의 보고들에서도 성공한 부위의 AP 간격은 대개 30 msec 이상이었던 것과 일치하는 소견이다.[20] 이 방법을 정확히 하기 위해서는 기준점이 되는 표면 심전도상의 P파

Table 4. P wave morphology of 12 lead ECG in 16 patients who were successfully treated with RF catheter ablation

Case / Site / P wave	2 LA	7 LA	8 LA	14 LAi	21 LAi	3 RA	4 RA	13 RA	17 RA	19 RA	20 RA	5 RAi	9 RAi	11 RAi	15 RAi	22 RAi
I	+	±	±	-	±	-	-	+	±	+	+	±	±	±	+	±
II	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-
III	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AVR	-	-	-	±	±	±	±	-	+	-	-	+	+	-	+	+
AVL	-	-	-	-	±	-	+	+	+	+	+	+	+	±	±	+
AVF	+	+	+	-	-	+	±	±	-	±	-	+	+	-	-	-
V1	+	±	+	+	+	+	+	±	±	±	-	±	-	+	+	+
V2	+	±	+	+	+	+	+	+	±	+	±	±	±	+	+	±
V3	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	±	+	±	+	+	-
V4	+	+	+	+	±	±	+	+	±	+	+	+	±	-	+	-
V5	+	+	+	+	±	±	+	+	±	+	+	+	±	-	+	-
V6	+	+	+	+	±	±	+	+	±	+	+	+	±	-	+	-

LA ; left atrium, LAi ; inferior portion of LA, RA ; right atrium, RAi ; inferior portion of right atrium
＋ ; positive P wave, - ; negative P wave, ± ; isoelectric P wave

의 기시점이 명확히 구별되야 하나 실제 심방빈맥 중에는 1 : 1의 방실전도를 보이면서 P파가 QRS파나 T파에 함몰되어 P파의 기시점을 정확히 정할 수 없는 경우가 있다. 이럴 때는 빈맥주기보다 짧게 심실에 기외자극을 가하여 심실의 활성을 앞당기어 P파를 분리해 낼 수 있다. 그러나 이 방법은 기외 수축시에 전극도자의 위치가 변할 수 있고 지도화 작업을 안정적으로 할 수 없으므로 이러한 경우에는 심내 심전도 중 안정적이면서 상대적으로 가장 빠른 활성을 보이는 부분을 기준으로 지도화 작업을 시행하는 것이 더욱 유용하다.[10)]

다른 지도화 기법으로는 심실빈맥시의 기법과 같은 원리의 entrainment법이 있고[21)] 절제전극도자로 예상되는 부위를 심박조율하여 얻어진 P파의 모양과 심내 심전도의 활성화 순서를 빈맥시의 소견과 비교하는 심박조율지도화법(pace mapping) 등이 있다. 한편 심박조율지도화법의 해상도에 관련하여 단극성 심박조율(unipolar pacing)을 했을 때 17 mm 이내에서는 같은 모양을 P파를 보이는 것으로 나타나 심박조율지도화법에 제한점이 있음이 지적되기도 하였다.[22)] 절제전극도자가 정확히 원발 병소에 위치되었을 때는 이를 통해 압박을 가하였을 때 심방빈맥이 종료되는 것을 관찰할 수 있는데 Pappone 등은 심방빈맥에서 이러한 소견이 관찰되는 부위에서 고주파 전류를 방출하였을 때 절제성공률이 높다고 보고하였다.[20)]

이와 같은 여러 지도화 기법은 서로 상보적인 것이므로 절제부위를 선정할 때 이러한 기법들을 적절히 선택하는 것이 필요하겠다. 저자 등은 일차적으로는 표면심전도 소견을 보고 그 발생부위를 예측한 뒤 심내 심전도를 통해 일차적으로 원발 병소 부위를 대별하였는데 이를 위해 심내 심전도에서 몇 가지 중요한 지점들의 활성화 순서를 먼저 확인하였다. 즉 관상정맥동 원위부, 근위부, His속, 우심방 상방 및 하방의 심방전기도의 활성화 순서를 분석하면 심방빈맥의 원발 병소를 일차적으로 대별할 수 있고 이어 절제전극도자를 예상부위에 위치시키어 자세한 지도화 작업을 하였다. 초기에는 우심방에 일반적인 4극 도자를 위치시켰으나 최근에는 20극 도자를 사용하여 동시에 여러 부위의 심전도를 기록하고 비교하므로써 우심방의 지도화가 용이해졌다. 최근 들어 심방내 지도화 기법에 있어 많은 기술적인 발전을 보여 심방 내에 32 채널의 전기도를 동시에 기록할 수 있는 Basket 전극도자나 심방 벽에 접촉하지 않고 저항의 변화로서 심근의 전위를 기록할 수 있는 비접촉성 풍선 전극도자(noncontact balloon electrode catheter)를 사용하여 빈맥시 심방의 활성화 양상을 삼차원적으로 쉽게 파악할 수 있으며 또한 절제전극도자의 위치를 입체적으로 감지할 수 있는 방법[7)]도 개발되어 도자의 위치를 확인하기 위한 엑스선 투시가 필요하지 않고 또한 도자의 궤적을 기록할 수 있으므로 지도화 작업에 있어 획기적인 진전을 이루게 되었다. 따라서 이러한 기기의 사용이 가능해지면 과거보다 심방빈맥의 원발 병소를 쉽게 찾을 수 있게 될 것이다.

저자 등이 시행한 심방빈맥의 원발병소 분포는 우심방이 좌심방에 비해 많았는데 이는 Chen 등[23)]의 심방빈맥의 전극도자 절제술에 대한 문헌 연구 결과와도 일치한다. Chen 등의 연구에 의하면 380명의 환자 중 우심방에서 기원하는 빈맥이 255예로서 좌심방보다 많았고 절제성공률이 높았는데 이는 절제전극도자의 접근과 지도화를 위한 조절이 좌심방보다 우심방이 훨씬 쉽기 때문일 것이다. 저자 등이 좌심방에서 절제를 시도한 7 예 중 4예에서 대동맥을 경유한 역행성 접근법을 시도하였는데 3예는 성공하였으나 1예에서 절제전극도자가 승모판 건삭에 걸리어 개흉술을 시행하였다. 성공한 3예는 좌심방의 후하부에서 기원하거나 측부의 방실구 근처에서 기원하는 것이었고 합병증이 발생하였던 예는 폐정맥구 근처에서 지도화를 시도하였던 경우였다. 이 합병증은 1986년 10월부터 1999년 5월까지 전기생리학검사를 시행한 2217명의 환자 중 2예(0.009%)에서 발생한 매우 드문 합병증이지만 일단 발생하였을 때는 개흉술이 필요하므로 좌심방 빈맥의 기원이 어느 부위인가에 따라 심방중격을 경유한 접근을 할 것인지 역행성 접근을 할 것인지 신중하게 판단해야 할 것으로 생각된다.

빈맥과 연관된 심근의 전기생리학적인 재형성에 관한 기초 연구들에서 밝혀졌듯이 빈맥증 자체가 빈맥이 더 잘 오도록 심근을 변화시키기 때문에 빈맥을 완치할 수 있는 치료법이 있다면 빈맥의 완치를 시도하는 것이 적절한 치료일 수 있을 것이다. 또한 원발 병소 지도화에 관한 기술적인 발전을 고려한다면 심방빈맥에 있어서 전극도자 절제술은 방실결절회귀성 빈맥이나 WPW 증후군에 있어 전극도자 절제술이 일차 치료 지침이 되는 것처럼 우선적으로 고려해야 할 치료 지침이 될 수 있을 것이다.

요 약

연구목적 :

고주파 전극도자 절제술은 상심실성 빈맥을 안전하게 완치할 수 있는 치료법이며 심방빈맥의 치료법으로서도 적용되고 있다. 국내에는 이에 대한 보고가 없었기에 저자들은 심방빈맥에 대한 전극도자 절제술의 성적을 보고하고자 하였다.

대상 및 방법 :

1996년 6월부터 1999년 5월까지 연세심장혈관센터 심장내과에서 전기생리학검사를 시행받은 831명의 환자 중 심방빈맥이 51예 있었으나 증상이 동반되면서 안정적으로 심방빈맥이 지속되었던 24예에서 전극도자 절제술을 시행하였고 심방세동과 동반된 2예를 제외한 22예의 임상상과 전기생리학검사 소견 및 전극도자 절제술의 결과를 분석하였다.

결 과 :

1) 22명의 환자(평균 연령 38세, 남자 13명)의 증상의 이환기간은 41.1±42.3개월(2 120개월)이었다. 동반된 심질환으로 빈맥연관성 심근증 3예, 선천성 심질환 1예와 대동맥판 협착증 1예 있었다. 5예에서 지속성 심방빈맥이 있었다.

2) 전기생리학검사상 17예의 빈맥이 계획심자극법에 의해 유도 및 종료되었으며 심방의 기외자극에 의해 주로 유도되었다.

3) 6예에서는 심방빈맥외의 우회로를 경유한 방실회귀성 빈맥(3예), 방실결절회귀성 빈맥(2예), 심방조동(1예) 등의 다른 부정맥이 동반되었고 이 부정맥들은 성공적으로 절제되었다.

4) 22예 중 17예에서 전극도자 절제술이 성공적으로 시행되었으며 평균 23개월의 추적기간동안 1예에서 재발하였는데 재발예는 대동맥판막치환술중 기록되었고 이에 대한 냉동절제술을 시행한 결과 수술 후 재발은 없었다.

5) 성공적인 절제부위의 심방전기도는 분획화(fra - ctionated)되어 있었고 AP간격은 평균 - 53.5±24.9 msec였다. 우심방에서 12예가 절제되었으며 좌심방에서는 5예가 절제되었다.

결 론 :

심방빈맥에 대한 고주파 전극도자 절제술은 효과적인 치료로 생각되며 심방빈맥이 지속적이며 증상을 동반하는 경우에 완치를 위한 치료법이 될 수 있다. 현재의 지도화기법의 발전과 함께 심방세동의 원인 부정맥으로서의 심방빈맥의 절제술에 대한 긍정적인 결과들을 고려할 때 심방빈맥에 대한 전극도자 절제술은 앞으로 적극적으로 고려해야 할 치료법으로 생각된다.

중심 단어 : 심방빈맥 · 전극도자 절제술.

REFERENCES

1) Kim SS. *Electrophysiologic study and catheter ablation. In: Kim SS, editor. Cardiac arrhythmia-diagnosis and tre-atment. Seoul: Yonsei University Press;1998. p.271-88.*
2) Han KR, Choi KJ, Lee MY, Nam GB, Zo JH, Kim HS, *et al. Radiofrequency catheter alblation for the treatment of atrioven-tricular reentrant tachycardia. Korean Circulation J 1995;25:920-9.*
3) Calkins H, Langberg J, Sousa J, El-Atassi R, Leon A, Kou W, *et al. Radiofrequency catheter ablation of accessory atrioventricular connections in 250 patients: abbreviated therapeutic approach of Wolff-Parkinson-White syndrome. Circulation 1999;85:1337-46.*
4) Jazayeri M, Hempe SL, Sra J, Avitall B, Dhala A, Deshpande S, *et al. Selective transcatheter ablation of the fast and slow pathways using radiofrequency energy in patients with atrioventricular nodal reentrant tachycardia. Circulation 1992;85:1318-28.*
5) Kalman JM, Van Hare GF, Olgin JE, Saxon LA, Stark SI, Lesh MD. *Ablation of 'incisional' reentrant atrial tachycardia complicating surgery for congenital heart disease. Use of entrainment to define a critical isthmus of conduction. Circulation 1996;93:502-12.*
6) Packer DL, Bardy GH, Worley SJ, Smith MS, Cobb FR, Coleman RE, *et al. Tachycardia-induced cardiomyopathy: a reversible form of left ventricular dysfunction. Am J Cardiol 1986;57:563-70.*
7) Marchlinski F, Callans D, Gottlieb C, Rodriguez E, Coyne R, Kleinman D. *Magnetic electroanatomical mapping for ablation of focal atrial tachycardias. PACE 1998;21: 1621-35.*
8) Jais P, Haissaguerre M, Shah DC, Chouairi S, Gencel L, Hocini M, *et al. A focal source of atrial fibrillation treated by discrete radiofrequency ablation. Circulation 1997; 95:572-6.*
9) Ahn S, Lee MH, Jang YS, Oh DJ, Choi IS, Ha JW, *et al. Clinical and electrophysiologic characteristics of the patients with Wolff-Parkinson-White syndrome in Korea. Korean Circulation J 1997;27:848-59.*
10) Chen SA, Chiang CE, Yang CJ, Cheng CC, Wu TJ, Wang SP, *et al. Sustained atrial tachycardia in adult patients. Electrophysiological characteristics, pharmacological response, possible mechanisms, and effects of radiofrequency ablation. Circulation 1994;90:1262-78.*
11) Lesh MD, Van Hare GF, Epstein LM, Fitzpatrick AP, Scheinman MM, Lee RJ, *et al. Radiofrequency catheter ablation of atrial arrhythmias. Results and mechanisms.*

Circulation 1994;89:1074-89.

12) Naccarelli GV, Shih H, Jalal S. *Sinus node reentry and atrial tachycardias. In: Zipes D, Jalife J, editors. Cardiac electrophysiology from cell to bedside. 2 nd ed, Philadelphia: WB Saunders;1995. p.607-19.*
13) Van Hare GF, Lesh MD, Stanger P. *Radiofrequency catheter ablation of supraventricular arrhythmias in patients with congenital heart diseases: results and technical considerations. J Am Coll Cardiol 1993;22:883-90.*
14) Chen SA, Tai CT, Yu WC, Chen YJ, Tsai CF, Hsieh MH, *et al. Right atrial focal atrial fibrillation: electrophysiologic characteristics and radiofrequency catheter ablation. J Cardiovasc Electrophysiol 1999;10:328-35.*
15) Tracy CM. *Catheter ablation for patients with atrial tachycardia. Cardiol Clin 1997;15:607-21.*
16) Langberg JJ, Chin MC, Rosengrist M. *Catheter ablation of the atrioventricular junction with radiofrequency energy. Circulation 1989;80:1527-35.*
17) Josephson ME, Spear JF, Harken AH. *Surgical excision of automatic atrial tachycardia: anatomic and electrophysiologic correlates. Am Heart J 1982;1:1076-85.*
18) Scheinman MM, Morady F, Hess DS. *Catheter induced ablation of the atrioventricular junction to control refractory supraventricular arrhythmias. JAMA 1982;248:851-5.*
19) Tang CW, Scheinman MM, Van Hare GF, Epstein LM, Fitzpatrick AP, Lee RJ, *et al. Use of P wave configuration during atrial tachycardia to predict site of origin. J Am Coll Cardiol 1995;26:1315-24.*
20) Pappone C, Stabile G, Simone A, Senatore G, Turco P, Damiano M, *et al. Role of catheter-induced mechanical trauma in localization of target sites of radiofrequency ablation in automatic atrial tachycardia. J Am Coll Cardiol 1996;27:1090-7.*
21) Chen SA, Chiang CE, Yang CJ, Cheng CC, Wu TJ, Wang SP, *et al. Radiofrequency catheter ablation of sustained intra-atrial reentrant tachycardia in adult patients. Circulation 1993;88:578-87.*
22) Man KC, Chan KK, Kovack P, Goyal R, Bogun F, Harvey M, *et al. Spatial resolution of atrial pace mapping as determined by unipolar atrial pacing at adjacent sites. Ciculation 1996;94:1357-63.*
23) Chen SA, Tai CT, Chiang CE, Ding YA, Chang MS. *Focal atrial tachycardia: reanalysis of the clinical and electrophysiologic characteristics and prediction of successful radiofrequency ablation. J Cardiovasc Electrophysiol 1998;9:355-65.*