高周波エネルギーによる経カテーテル房室 接合部アブレーションを成功させる条件に ついての実験的検討

近藤一彦* 渡辺一郎* 小島利明* 神田章弘*
高橋義和* 梶田潤一郎* 小倉敏嗣* 斎藤 顕*
小沢友紀雄* 八杉忠男*

房室接合部の高周波カテーテル・アブレーションを成功させる条件および通電中のカテーテル先端温度について、雑種成犬を用い実験的検討を行った。遠位電極の内側にサーミスターを固定した2極カテーテルをX線透視下にて大腿静脈により三尖弁輪部に挿入しHis束電位を記録し、同部位より高周波(13.56MHz)双極通電を行い完全房室ブロックの作成を試みた。完全房室ブロック作成の条件として、①His束電位図上の心房波と心室波の振幅比が1.0以上でHis束電位が記録できる部位であること、②通電中のaccelerated junctional rhythmの出現、③エネルギーとしては20~40Wで20~30秒の通電、④X線透視下でのカテーテル位置の安定性であった。一方、His束電位最大部位での通電では右脚ブロックとなるのみであった。通電時カテーテル先端温度は平均 $67 \pm 4^{\circ}\text{C}$ に上昇した。病理学的変化では房室接合部に凝固壊死層、収縮帯壊死層を認め、正常心筋との境界は明瞭であった。(心電図13: No. 1, 189~197, 1993)

I. 結 言

カテーテル・アブレーションは経皮的に心腔内に留置した電極カテーテルを介して、外部よりエネルギーを通電することにより心筋組織の一部を焼灼し難治性頻脈性不整脈を治

療する方法であるが、その臨床応用にあたり解決されるべき問題も少なくない。1979年、Vedel¹⁾は心臓電気生理学的検査中に体外直流通電を行ったところ、偶発的に完全房室ブロック(以下CAVBと略す)を作成してしましたが、その原因として、His束電位記録用のカテーテルより電流が流れて房室接合部を障害したと推測した。その後1982年にScheinman²⁾、Gallagher³⁾が直流通電による房室接合部のカテーテル・アブレーションを難治性上室性頻拍の治療に初めて臨床応用した。1976年にBeazell⁴⁾が初めて報告して以来、直流通電による房室接合部あるいは

Key Words ●カテーテル・アブレーション
●高周波エネルギー
●カテーテル先端温度
●房室結節
●房室ブロック

* 日本大学医学部第2内科
(〒173 東京都板橋区大谷口上町30-1)

The predictor of successful catheter ablation of canine atrioventricular junction utilizing radiofrequency current
Kazuhiko Kondo, Ichiro Watamabe, Toshiaki Kojima, Akihiro Kanda, Yoshikazu Takahashi, Junichirou Kajita, Toshitugu Ogura, Satoshi Saito, Yukio Ozawa, Tadao Yasugi

1992年7月6日 原稿受領/1992年11月17日 掲載承認

His 束に対するのカテーテル・アブレーションが実験的に研究され^{5)~8)}、また臨床的^{9)~11)}にも難治性上室性頻拍症に対して施行されるようになった。確かに直流通電による房室接合部のアブレーションは完全房室ブロックを作成するにあたり有効な方法ではあるが、通電により骨格筋をも収縮させ痛みを生ずるため全身麻酔を要すること、高圧直流通電時の高圧ショック波の発生により barotrauma を生ずること、通電により形成される病変が均質でないこと¹²⁾、さらに早期合併症として循環不全、心室性不整脈、心室穿孔、心タンポナーデなどが、遠隔期合併症として脳卒中、突然死などがあること^{9)~11),13)}が報告されている。そこで直流通電に代わる方法として、エネルギー量の調節性に富む高周波(以下 RF と略す)が注目されるようになった。RF は電気エネルギーの一種であり、その周波数が 150kHz から 1.0MHz までのものである。RF は直流通電と比較して、①高電圧とならないため通電時に barotrauma を生じない、②通電が神経、骨格筋を放電させないため全身麻酔を要しない、③催不整脈性が低い、④通電により形成させる病変の大きさを容易に調節できる、⑤形成される病変が均質でかつ正常組織との境界は明瞭である¹⁴⁾、以上の利点がある。

Huang らが初めて RF を用いて実験的に CAVB を作成し得たと報告¹⁵⁾して以来、RF を用いた房室接合部のアブレーションは実験的に研究され^{13),15),16)}、またすでに臨床的^{17)~20)}にも応用されている。しかし、いかなる条件で房室接合部のアブレーションを行えば、安全かつ確実に CAVB を作成し得るかについての検討は不十分である。そこで著者らは RF を用いて房室接合部のカテーテルアブレーションを成功させ得る諸条件と、その際のカテーテル電極先端の温度変化についての実験的検討を行った。

II. 方 法

実験 1

対象は雑種成犬 21 頭(9~20kg)である。Sodium pentobarbital(25mg/kg)にて静脈麻酔後、Harvard respirator を用い呼吸を管理した。USCI 社製、4 極カテーテル(7 F, 極間距離 5 mm)を X 線透視下に右大腿静脈より三尖弁輪上縁まで挿入して、遠位 2 極で双極誘導とし、さらにそれぞれの電極より背部に置いた鉛板を不関電極とし、単極誘導にて His 束電位を記録した。RF 焼灼装置(Inter Nova 社製、Nova Flame RA-50, 周波数 13.56MHz)を用いて His 束電位記録部より遠位の 2 電極間で 10~50W, 10~50sec の双極通電を行い CAVB の作成を試みた。RF 通電を行う際には以下のものを指標とした。1) 双極 His 束電位上の心房波と心室波の振幅の比(以下 A/V 比と略す)、2) 双極 His 束電位の大きさ、3) 使用した RF エネルギーの大きさ(W)と通電時間(sec)。

実験 2

対象は雑種成犬 17 頭(5~17kg)であり、実験 1 と同様に sodium pentobarbital(25mg/kg)にて静脈麻酔後、Harvard respirator を用い呼吸を管理した。Cordis 社製 Lumerec カテーテル(7 F, 2 極, 極間距離 15mm)の内腔を通し遠位電極の先端にサーミスターを固定した。サーミスターを高周波による影響を受けないようにしてあるデジタル温度計(Inter Nova 社製 TM-54-H)に接続し、その出力をレコーダーに連続記録しカテーテル先端温度を記録した。実験 1 と同様に His 束電位記録部より遠位の 2 電極間で 10~50W, 10~50sec の双極通電を行い CAVB の作成を試み、その際のカテーテル先端の温度変化を体表面心電図とともに記録した。焼灼後犬を屠殺し、焼灼部位の肉眼的および病理学的観察を行った。

推計学検討は Student の t-test を用い p 値が 0.05 以下を有意とした。

III. 成 績

実験 1

表 1 に実験 1 の結果を示す。21頭中14頭で CAVB が、1 頭では 1 度房室ブロックが、4 頭では右脚ブロックが作成された。一方、実験当初の 2 頭では AH 間隔、HV 間隔、QRS 幅に有意な変化はみられなかったが、この原因としては、カテーテル先端が房室結節を含め刺激伝導系に接触していなかったものと考えられる。CAVB が作成された14頭中 8 頭は慢性期(1～4 ヶ月)にも心電図記録を行ったところ、全例 CAVB のままであった。図 1 に通電前の体表面心電図と双極誘導の His 束の電位図の実例を示す。遠位 2 極間で記録した His 束電位図上 A/V 比は3.1であった。His 束電位図記録部より図 2 に示すように20 W、16秒の通電を行ったところ通電開始約 3 秒後より accelerated junctional rhythm²⁰⁾

(以下 AJR と略す)が出現し、それに引き続き高度房室ブロックより CAVB に移行した。CAVB が作成された14頭中11頭(79%)で通電開始後 3～24秒に AJR が出現した。ATR が出現した後に CAVB に移行した例では、その後も CAVB が持続したが、AH 間隔が徐々に延長し、その後 CAVB に移行した例では、CAVB の持続は一過性で 1：1 房室伝導に復することが多かった。CAVB となった例では通電後の His 束電位図において全例 A-H ブロックにより CAVB となっていた。表 2 に CAVB 作成群と CAVB 非作成群での各パラメータを示す。CAVB 作成群において、A/V 比は 1.8 ± 1.9 (mean $\pm$ SD)、通電エネルギーが 31 ± 9 W、通電時間が 22 ± 6 sec であった。一方 CAVB 非作成群では A/V 比が 0.3 ± 0.5 、通電エネルギーが 31 ± 10 W、通電時間が 22 ± 4 sec であった。両群間において A/V 比のみ統計学的有意差が認められ、

表 1 実験 1 の結果

No	体重 (kg)	エネルギー (W)	エネルギー (sec)	A/V 比	AJR	結果
1	14.0	20	20	0.61	—	変化なし
2	9.0	20	20	0.02	—	変化なし
3	14.0	40	20	0.34	—	RBBB
4	14.0	40	30	0.01	—	RBBB
5	20.0	40	30	0.29	—	CAVB
6	16.0	40	20	0.85	+	CAVB
7	14.0	20	20	1.03	+	CAVB
8	13.0	40	20	1.00	+	CAVB
9	12.0	20	30	8.14	+	CAVB
10	11.0	30	30	0.88	+	CAVB
11	14.0	40	20	0.07	—	RBBB
12	16.5	30	30	2.45	+	CAVB
13	11.0	40	20	0.71	+	CAVB
14	10.0	40	20	1.25	+	CAVB
15	10.0	40	10	2.63	—	CAVB
16	10.0	40	20	1.73	+	CAVB
17	11.0	20	30	0.56	+	CAVB
18	14.0	40	30	0.09	—	RBBB
19	12.0	20	20	1.48	+	1st AVB
20	10.0	20	20	1.06	—	CAVB
21	16.0	20	16	2.94	+	CAVB

A/V：心房心室振幅比，AJR：accelerated junctional rhythm，RBBB：
右脚ブロック，1st AVB：1度房室ブロック

Jul.-17-'89 16Kg

図1 通電前の体表面心電図 I 誘導および心腔内電位図を示す。遠位電極 1・2 で記録した His 束電位図上、心房心室振幅比(A/V 比)は約3.1であった。

Jul.-17-'89 16Kg

NOVA FLAME RA50

USCI S2943

20Watt 16sec.

図2 His 束電位図記録部より20W, 16秒の通電を行ったところ通電開始約3秒後より房室接合部調律(AJR)が出現し、その後高度房室ブロックより完全房室ブロックに移行した。

表2 両群における各パラメータの比較

	success(n=14)	unseccess(n=7)	p value
A/V ratio	1.8±1.9	0.3±0.5	p<0.05
Energy (W)	31±9	31±10	p=ns
Time(sec)	22±6	22±4	p=ns

mean±SD

CAVB 作成群では A/V 比がおおむね1.0より大きく, CAVB 非作成群では A/V 比が1.0より小さい傾向にあった。CAVB 作成群では

His 束電位が記録できる部位であることが多かった。また右脚ブロックが作成された例ではいずれも A/V 比が0.4より小さく, His 束

電位の振幅が最も大きく記録される部位で通電したものであった。X線透視上、電極カテテル位置の安定性がよいときはCAVBが作成されることが多かったが、安定性が悪いときにはCAVBが作成されることはなかった。

以上より RF 通電を用いたカテテル・アブレーションにてCAVBを作成させるための条件としては、① A/V 比がおおむね1.0以上で His 束電位の最大記録部位ではないこと、② RF 通電開始 3～24秒後の AJR の出現、③通電エネルギー量としては20～40W、20～30秒、④X線透視上電極カテテルの位置が安定している、以上の 4 点であった。一方遠位 2 極間で記録した His 束電位図上 His 束電位が最大に記録される部位で通電を行うと右脚ブロックとなり CAVB は作成されなかった。

実験 2

表 3 に17頭についての成績を示す。RF 通電により17頭中15頭で CAVB が作成され、

1 頭は 3：1 房室ブロックが得られ、残りの 1 頭は 1：1 房室伝導のままであった。CAVB が作成された15頭のうち13頭でカテテル先端温度が記録可能であり、カテテル先端温度の早高値は通電開始後 3～24秒で $67 \pm 4^{\circ}\text{C}$ に上昇した。図 3 は His 束電位図上 A/V 比が1.1である部位より20W、20秒の通電を行った際の実記録である。通電中徐々に PQ 間隔が延長し一過性に 2：1 房室ブロックになったが、通電終了直後に 1：1 伝導に回復した。このときカテテル先端温度は 53°C までしか上昇しなかった。図 4 は図 3 と同一部位より30W、30秒の通電を行ったときの記録であるが、通電開始 4 秒後より CAVB となり通電終了後も CAVB が持続していた。このときカテテル先端温度は 58°C まで上昇した。したがって20W の通電では出力が小さかったため、カテテル先端温度の上昇が不十分であったと推測される。房室接合部アブレーション施行時のカテテル先端温度の変化をみると、いずれの通電出力でも、ある一

表 3 実験 2 の結果

No.	体重 (kg)	エネルギー (W)	(sec)	A/V ratio	カテ先温度 ($^{\circ}\text{C}$)	結果
1	12.0	40	20	1.18	90.0	CAVB
2	9.0	20	20	0.63	—	CAVB
3	12.0	20	20	1.18	63.0	CAVB
4	14.5	40	30	1.17	—	CAVB
5	14.0	20	20	0.92	65.6	CAVB
6	17.0	30	20	1.08	68.0	CAVB
7	12.0	20	20	0.86	59.8	CAVB
8	12.0	30	30	0.55	55.7	CAVB
9	10.8	30	30	1.15	—	CAVB
10	17.0	40	30	0.91	90.6	変化なし
11	5.0	40	30	0.43	78.2	CAVB
12	13.0	40	30	1.11	58.9	CAVB
13	15.0	40	30	1.08	74.0	CAVB
14	15.0	30	20	0.92	60.1	3：1 B
15	12.0	40	30	0.71	83.6	CAVB
16	13.0	30	30	1.31	60.0	CAVB
17	12.0	50	30	1.12	46.6	CAVB
平均	12.6	32	25	1.01	68.1	

A/V ratio：心房心室振幅比，CAVB：完全房室ブロック，3：1 B：3：1 房室ブロック

20Watt 20sec.

図3 His束電位図上、心房心室振幅比が1:1である部位より20W, 20秒の通電を行った際の実記録である。一時的に2:1房室ブロックになったが直ちに1:1伝導に回復した。このときカテーテル先端温度は53°Cまでしか上昇しなかった。

July-28-'89 12Kg

NOVA FLAME RA50 CORDIS LUMELEC

30Watt 30sec

図4 図3と同一部位より30W, 30秒の通電を行ったときの記録であるが、通電4秒より完全房室ブロックとなり通電終了後まで持続していた。このときカテーテル先端温度は58°Cまで上昇した。

定の温度に達すると多少の変動を示すが、それ以上上昇することはなかった。

RF焼灼直後の肉眼像を図5に示すが、遠位および近位電極間で正常部との境界が明瞭な楕円形に近い焼灼部を認めた。10%ホルマリン液で固定し、Azan染色を行った組織像を図6に示す。カテーテル電極接触部に心内膜の肥厚がみられ、電極接触部を中心とした心房筋および心室筋の凝固壊死層が形成され、周辺部は収縮帯壊死を呈し、正常心筋との境界は明瞭であった。壊死層は心室中隔の一部まで及んでおり、三尖弁の中隔尖に軽度の浮腫が認められた。

IV. 考 案

実験1では21頭中14頭(66.7%)でCAVBを作成し得た。RFによる房室接合部のアブレーションを行う場合は、カテーテルの遠位電極と皮下に置いた対極板との間で通電(単極通電)が行われることが多いが^{15)~17),20)}、今回著者らはカテーテルの遠位2電極間で双極通電を行った。双極通電は単極通電と比較し対極板を必要とせずより簡易な方法である。

双極通電によるRF房室接合部アブレーションを成功させるには、カテーテル電極を三尖弁上縁で双極誘導にてHis束電位が記録できる位置へもって行き、そこからカテーテ

図5 高周波焼灼直後の肉眼像を示す。カテーテル電極間で正常部と境界を明瞭とした精円系に近い焼灼部を認めた。

図6 10%ホルマリン液固定し、アザン染色後の組織像を示す。カテーテル電極接触部に心内膜の肥厚がみられ、電極接触部を中心とした凝固壊死層が形成され、周辺部は収縮帯壊死を呈し、正常心筋との境界は明瞭であった。壊死層は心室中隔の一部まで及んでいた。

ルをできるだけ引き抜き、以下の条件をなるべく満たすことが重要であった。すなわち①A/V比がおおむけ1.0以上でHis束電位が記録できる部位であること、②RF通電中におけるAJRの出現、③エネルギーとしては20~40W、20~30秒の通電、④X線透視上電極カテーテルの位置が安定している、以上の4点である。双極通電では、His束電位図上His束電位が最大に記録される部位で通電を行うと、電極の位置関係により右脚ブロックが作成されるのみであった。

実験2では遠位電極先端の内側にサーミスターを内蔵したカテーテルを開発し使用した。すでにOSYPKA社製の高周波発生装置であるHAT200および電極カテーテルのHAT260のようにカテーテル電極先端温度をコントロールできるタイプも市販されている。本研究の結果からはカテーテル電極が至適部位にあたっていればカテーテル先端温度が約60°Cにまで上昇することによりCAVBの作成が可能であった。逆にCAVBを作成し得なかった原因としては、1)カテーテル先端が動いているため房室接合部に固定されず熱が流血中に漏れ、カテーテル電極の温度が十分に上昇しない、2)カテーテル電極の温度が

60°C以上に上昇してもカテーテル電極が正確に房室接合部にあたっていない、3) 通電出力が小さくカテーテル電極の温度が十分に上昇しない、などが考えられた。

以前に著者らはRFを用いた心室筋アブレーション時のカテーテル電極の温度変化について報告した²¹⁾。心室筋アブレーションの際、15Wを越える出力ではカテーテル電極の温度は100°C以上になることが多かった。房室接合部アブレーション施行時のカテーテル先端温度は心室筋アブレーション時と比較すると、同じ通電出力でも温度上昇の程度は少なかった。その理由としては心室筋アブレーション時は心室筋とカテーテル電極の接触が良好であるが、房室接合部アブレーション時は、カテーテル電極が三尖弁輪部において下位右房中隔と側面でしか心内膜面に接触していないため、流血中に熱エネルギーの一部が漏れることに原因すると思われた。今回カテーテル先端温度が90°C以上に上昇した例が2例みられた。RF通電ではカテーテル電極の温度が100°C近くになると電極周囲に血栓が形成されることが知られている^{22),23)}。したがって血栓形成を予防するためにはカテーテル電極の温度が90°C以上に上昇した場合、直ちに通電を中止する必要があると思われる。以上のようにRF通電中にカテーテル先端温度をモニタリングすれば、より安全で、より確実なアブレーションを施行することが可能である。

RFを用いた心室筋のアブレーションでは、致死的心室性不整脈が発生し得ることを著者らは報告した²¹⁾。房室接合部のアブレーションにおいてもその催不整脈性が問題となる。今回の研究では組織学的に焼灼層は心室中隔の一部にまで及んでいた例もあったが、通電中の心室性不整脈発生は1例もみられず、RFによる房室接合部アブレーションではAJRがみられたのみであった。今回著者は慢性期の組織学的検討は行わなかったが、慢性期の焼灼領域は完全に繊維組織に置換され、正常組織との境界は明瞭であり、将来の催不整脈

源となり得るような不均一な変化はみられないという報告²⁴⁾もある。著者の検討においても慢性期に心電図を記録し得た犬については心室性期外収縮や心室性頻拍はみられなかった。したがってRFを用いた房室接合部のアブレーションでは慢性期においても催不整脈性については問題ないと思われる。

V. 結 語

RFを用いたCAVBの作成には、1) His束電位図上のA/V比、2) AJRの出現、3) カテーテル先端温度の上昇、が大きく関与することが多く、通電中にカテーテル先端温度をモニタリングすることにより、より安全にかつ確実な焼灼を行うことが可能である。

本論文の要旨は第54回日本循環器学会(1990年3月、福岡)ならびに第1回カテーテル・アブレーション研究会(1989年10月、東京)において発表した。

〔文 献〕

- 1) Vodel J, Frank R, Fontaine G, Fournial JF, Grosogest Y: Bloc auriculo-ventriculaire intra-hisien definitif induit au cours d'une exploration endoventriculaire droite. Arch Mal Coeur 72: 107~112, 1984
- 2) 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
- 3) Gallager JJ, Svenson RH, Kasell JH, Germanat LD, Bardy GH, Broughton A, Critelli G: Catheter technique for closed-chest ablation of the atrioventricular conduction system: A therapeutic alternative for the treatment of refractory supraventricular tachycardia. N Engl J Med 306: 194~200, 1982
- 4) Beazell J, Tan K, Criley J, Schulman J: The electrosurgical production of heart block without thoracotomy [abstract]. Western Society for Clinical Research 137A, 1976
- 5) Gonzalez R, Scheinman MM, Margaretten W,

- Rubinstein M : Closed-chest electrode-catheter technique for His bundle ablation in dogs. *Am J Physiol* 241 : H283~287, 1981
- 6) Gonzalez R, Scheinman MM, Bharati S, Lev M : Closed-chest permanent atrioventricular block in dogs. *Am Heart J* 105 : 461~470, 1983
 - 7) Scheinman MM, Bharati S, Wang Y, Shapiro WA, Lev M : Electrophysiologic and anatomic changes in the atrioventricular junction of dogs after direct-current shocks through tissue fixation catheters. *Am J Cardiol* 55 : 194~198, 1985
 - 8) Gewillig M, Aubert A, Bosch JVD, Bosch AVD, Witters E, Moerman P, Ector H, Degeest H : Transvenous electrodesiccation of the atrioventricular conduction system in the dog. *J Electrophysiol* 1 : 189~196, 1987
 - 9) Nathan AW, Bennet DH, Ward DE, Bexton RS, Camm AJ : Catheter ablation of atrioventricular conduction. *Lancet* 1 : 1280~1284, 1984
 - 10) Evans GT Jr, Scheinman MM, Zipes DP, Benditt D, Breithardt G, Camm AJ, El Sherifet N, Fisher J, Fontaine G, Levy S, Prystowsky E, Josephson M, Morady F, Ruskin J : The percutaneous cardiac mapping and ablation registry : Final summary of results. *PACE* 11 : 1621~1626, 1988
 - 11) Levy S, Bru P, Aliot E, Attuel P, Barnay C, Clementy J, Ebagoisti A, Fauchier JP, Fontaine G, Leclercq JF : Long-term follow-up of atrioventricular junctional transcatheter electrical ablation. *PACE* 11 : 1149~1153, 1988
 - 12) Newman D, Evans TG, Scheinman MM, et al : Catheter ablation of cardiac arrhythmias. *Curr Probl Cardiol* 14 : 117~164, 1989
 - 13) Huang SP, Jordan N, Graham A, Bharati S, Lampe L, Odell R, Marcus FI : Closed-chest catheter desiccation of atrioventricular junction using radiofrequency energy—a new method of catheter ablation[abstract]. *Circulation* 72 : III-389, 1985
 - 14) Fled M, Fisher J, Bordman R, Golier F : Coronary sinus rupture complicating catheter ablation of the atrioventricular junction. *J Electro-physiol* 1 : 257~260, 1987
 - 15) Huang SKS : Radio-frequency catheter ablation of an evolving therapeutic modality. *Am Heart J* 118 : 1317~1323, 1989
 - 16) Huang SK, Bharati S, Graham AR, Lev M, Marcus FI, Odall RC : Closed chest desiccation of the atrioventricular junction using radiofrequency energy—A new method of catheter ablation. *J Am Coll Cardiol* 9 : 349~358, 1987
 - 17) Huang SK, Bharati S, Lev M, Marcus FI : Electrophysiologic and histologic observations of chronic atrioventricular block induced by closed-chest catheter desiccation with radiofrequency energy. *PACE* 10 : 805~816, 1987
 - 18) Borggrefe M, Buddle T, Podczeck A, Breithardt G : Application of transvenous radiofrequency alternating current ablation in humans [Abstract]. *Circulation* 76 : IV-406, 1987
 - 19) Bowman A, Fitzgerald D, Friday K, Kuck KH, Naccarelli G, Lazzara R, Jackmann W : Catheter ablation of selected segments of the AV conduction system using radiofrequency current [Abstract]. *PACE* 11 : 429, 1988
 - 20) Langberg JJ, Chin MC, Rosenqvist M, Cockrell J, Bullet N, Van Hare G, Griffin JC, Scheinman MM : Catheter ablation of the atrioventricular junction with radiofrequency energy. *Circulation* 80 : 1527~1535, 1989
 - 21) 近藤一彦, 渡辺一郎, 斎藤 頌, 梶田潤一郎, 小倉敏嗣, 高橋義和, 小沢友紀雄, 波多野道信 : 高周波を用いたカテーテル心内膜心筋焼灼術の基礎的検討. *心臓ペースング* 6 : 92~95 ; 1990
 - 22) Ring ME, Huang SKS, Gorman M, Graham AR : Determinants of impedance rise during catheter ablation of bovine myocardium with radiofrequency energy. *PACE* 12 : 1502 ~ 1513, 1989
 - 23) Naccarelli GV, Kuck KH, Pitha JV, Carmen L, Jackmann WM : Catheter ablation of canine ventricular myocardium utilizing radiofrequency current. *J Electrophysiol* 3 : 223~232, 1989
 - 24) 佐竹修太郎, 川良徳弘, 山下勝弘 : 高周波を用いたカテーテル焼灼法. *心臓ペースング* 6 : 334~342, 1990