—臨床医のために—

カテーテルアブレーション

井野 威*

日本医科大学附属多摩永山病院内科

Catheter ablation therapy for cardiac arrhythmias

Takeshi Ino*

Department of Medicine, Nippon Medical School Tamanagayama Hospital

はじめに

近年の心臓電気生理学の進歩は不整脈発生機序、抗不整脈薬作用機序の解明に大きく貢献し、抗不整脈治療を従来の経験的薬剤選択から、より理論的な根拠に基づく薬剤選択へと進化させた。一方、不整脈の発生機序の解明は、不整脈発生源の正確な同定（マッピング）を可能にし、カテーテルアブレーションの臨床応用をも導き出した。カテーテルアブレーションとはカテーテルを介して不整脈の原因となる心筋組織の一部を破壊する手技である。その臨床応用は1980年代前半に始まり、当初はそのエネルギー源として直流通電（除細動器から発生する電流）が用いられた。しかし、直流通電は組織傷害が大きく、しばしば重篤な合併症を

引き起こすため1980年代後半に登場した高周波通電にとって変わられた。ここでは高周波カテーテルアブレーションの概要に付き述べる。

1. 高周波アブレーションの原理

高周波アブレーションでは、心筋に接触させた電極カテーテルと体表面（背面）に貼付した対極板の間で高周波を通電する（図1）。高周波は外科手術用の電気メスに古くから応用されているが、電気メスでは1,000 V前後の高電圧を用いて組織の切断が行われるのに対し、高周波アブレーションでは40 V前後の低電圧が用いられる。高周波を通電するとカテーテル先端に隣接する組織内のイオンをその周波数に合わせて移動する結果、摩擦熱が生じ、通常10～40 Wの通電に

図1 高周波カテーテルアブレーションの模式図。心内膜の標的部位に留置したカテーテル電極と背部に貼付した対極板の間で高周波通電を行うと、カテーテル先端では右の拡大図に示すごとく心筋と接する面で発熱が起こり、周囲への熱伝導により最大約5 mm×5 mmの凝固壊死層が形成される。

よりカテーテル先端が発熱し、60～80℃に達すると組織の凝固壊死がおこる。与えられた高周波エネルギーの効果はカテーテル接触部で最大であり、その周辺では急速に減弱するため、通常焼灼効果の及ぶ範囲は直径5mm 深さ5mm 程度までである(図1)。先端温度が上昇し過ぎると組織の炭化、カテーテル先端における血栓形成、沸騰効果による気泡発生などが起こり、血栓塞栓症などの合併症発生につながる恐れがある。最近ではカテーテル先端にサーミスターなどの温度感知素子を有し、設定温度にしたがって通電出力を自動コントロールする機構を持った装置が主流となり、安全性はさらに高まっている。

2. 高周波アブレーションに用いられるカテーテル

カテーテルアブレーションでは、まずカテーテル先端を目的の位置(不整脈発生源)に正確に接触させることが重要であり、その目的でカテーテル先端が手元の操作により自由に屈曲するように設計されたカテーテル(デフレクタブルあるいはスティーラブルカテーテル)が用いられる。カテーテル屈曲部の長さは数種類用意されており、目的に応じて理想的なカーブのカテーテルを選択する。また、最近では1本のカテーテルで様々な屈曲長に変えられるカテーテルも開発されている。さらに高周波アブレーションではカテーテル先端電極の大きさが重要であり、我が国では4mmの先端電極を有するカテーテル(ラージチップカテーテル)が広く用いられている。

3. 高周波アブレーションの適応

アブレーション治療の臨床適応を表1に示す。従来は抗不整脈薬無効の難治性重症不整脈が適応とされて

表1 高周波カテーテルアブレーションの臨床適応

A	頻拍により重篤な血行動態の悪化を来す恐れのある例(例えば WPW 症候群に合併する心房細動、心室頻拍など)
B	抗不整脈薬治療抵抗性の頻拍
C	抗不整脈薬の慢性投与困難例(例えば副作用出現例、妊娠の可能性のある若年女性など)
D	薬物治療よりも根治的アブレーションのほうが患者 QOL の改善に有用と判断される例

きたが、アブレーション治療の有効性、安全性が確立されてきた現在、その適応は広がりつつある。このほかにも運動選手やリスクの高い職業人などでもより積極的にアブレーション治療が選択される場合がある。一方、実際にアブレーションを行うに当たっては、1) 不整脈発生源のマッピングを正確に行い得ること、2) アブレーションの目標となる不整脈発生源が限局し、さらに心内膜側に近いことが必要であり、アブレーション治療の適応となりうる不整脈としては WPW 症候群、房室結節リエントリー頻拍、心房粗動、心室頻拍などがあげられる。以下にその手技ならびに臨床成績について述べる。

(1) WPW 症候群

Kent 束のアブレーションを実施するに当たっては、まずその局在を明らかにする必要がある。Kent 束は僧帽弁輪あるいは三尖弁輪部に存在するため、心腔内に挿入したカテーテルを用いて弁輪部を注意深くマッピングして、その付着部位を決定し、同部位に高周波通電を行う。弁輪部へのアプローチには弁輪部の心房側へ至る弁上アプローチと、心室側へ至る弁下アプローチがあり、Kent 側の付着部位や、その性質により使い分けられる。図2左は左室前壁に付着した Kent 束に

図2 WPW 症候群に対するカテーテルアブレーションの実例。図左は右前斜位 30 度での透視像。アブレーションカテーテル(Abl)は大動脈より逆行性に左心室内に入り、ループを描いて尖端が僧帽弁輪の副伝導路付着部位に接している。HRA, HBE, CS, RVA はそれぞれ高位右房、ヒス束電位記録部位、冠静脈洞、右室心尖部に留置したカテーテルを示す。図右は高周波通電時の心電図変化を示す。“RF on”の↑で示したところで高周波通電を開始しているが、開始後約 1.5 秒、*印で示した心拍からデルタ波が消失している。

対してカテーテルアブレーションを施行中のレントゲン透視像である。アブレーション用のラージチップカテーテルは大動脈から逆行性に左心室に挿入され、ループを描いて僧帽弁輪弁下部にあたっている（弁下アプローチ）。同部位で先端温度を 60°C に設定し通電を開始したところ、図 2 右に示すごとく通電開始後約 1.5 秒で Kent 束は離断され、心電図上、デルタ波の消失 PR 間隔、QRS 幅の正常化が見られている。本例は 60 秒間の通電を計 2 回行い、アブレーション施行前には薬剤抵抗性の発作性上室性頻拍を繰り返していたが、術後は無投薬にても発作は全く見られていない。

(2) 房室結節リエントリー頻拍

房室結節リエントリーは WPW 症候群と並んで発作性上室性頻拍の主要なメカニズムであり、若年から中年の女性に多い傾向が知られている。リエントリー回路の局在は図 3 に示すごとく房室結節およびその周囲の心房筋であり、回路は伝導の速い fast pathway と遅い slow pathway という 2 つの異なった経路により形成されている¹。Fast pathway の傷害は完全房室ブロックなどの房室伝導障害の発生につながるリスクが高いため、カテーテルアブレーションでは slow pathway を目標に高周波通電を行い、房室伝導能 (fast pathway を介する房室伝導) を温存したままリエントリー回路を遮断する方法がとられる。しかしながら房室結節周囲の解剖は複雑で、2 つの pathway の付着部位についても様々なバリエーションが知られており、アブレーション後の房室伝導障害は 0～2 % 程度に出

図 3 房室結節リエントリーの機序を示すシェーマ (文献¹より改変)。詳細は本文参照。

現しうるとされる。

(3) 心房粗動

心房粗動は比較的稀な不整脈であるがしばしば薬剤抵抗性であり、また房室伝導が 1 対 1 を示すと極めて重篤な血行動態障害を引き起こすことから、アブレーションの適応となるケースが多い。典型的心房粗動は図 4 左に示すごとく II, III, aVF 誘導で陰性、V1 誘導で陽性の粗動波を呈し、そのリエントリーは図 4 右に示すごとく三尖弁輪で右房側壁を下行、右房中隔側を上行する回路を形成している。この回路には上大静脈と三尖弁輪の間、冠静脈洞入口部と三尖弁輪の間といった解剖学的な峡部が含まれており²、アブレーションに際してはこれら峡部を介する伝導のブロックにより、リエントリー回路を遮断する方法がとられる³。これら峡部の幅は 1～3 cm 程度と考えられ、高周波通電

図 4 典型的心房粗動 (I 型心房粗動) の 12 誘導心電図 (図左) と、リエントリー回路を示すシェーマ (図右)。リエントリーは三尖弁輪心房側で右房側壁を下行、右房中隔側を上行する。下大静脈 (IVC) と三尖弁輪の間の狭部 (IVC-TV isthmus) と冠静脈洞入口部 (CSos) と三尖弁輪の間の狭部 (TV-CS isthmus) が回路に含まれており、これら狭部を介する伝導の遮断によりリエントリーは消失する。

表2 多摩永山病院における高周波カテーテルアブレーション施行状況 (関連施設の2症例を含む)

(1997年2月現在)

	症例数	年齢	性別	適応	成功	術後抗不整脈薬投与	フォローアップ期間(月)	再発	合併症
WPW 症候群	8	41±14	M 5/F 3	A+B: 2 B: 1 D: 5	8	0	4.4±2.7	0	0
房室結節リエントリー頻拍	3	39±12	M 0/F 3	B: 2 C: 1	3	0	3.3±1.2	0	1*
心房粗動	5	69±6	M 4/F 1	B: 5	4	2**	4.6±2.1	0	0
心室頻拍	1***	29	M 1	A+B: 1	0	0			0

M:男, F:女. 適応欄の記号は表1を参照. *アブレーション直後に一過性房室ブロック出現. **1例は残存する一過性心房細動に対して投与中. ***ARVD 症例, 詳細は本文参照.

はこの幅を横断するように線状に行われる.

(4) 心室頻拍

心室頻拍は陳旧性心筋梗塞や心筋症を背景に出現する 경우가多いが, 基礎心疾患を有しない特発性心室頻拍もしばしば見られる. 特発性心室頻拍は心電図上左脚ブロック+下方軸を呈する右室流出路起源のものと, 右脚ブロック+上方軸を示す左室中隔起源の2種類がその代表的なものである. 前者は通常非持続性で運動負荷などで誘発されることが多く, 機序は撃発活動や自動能亢進が考えられており, 後者は通常持続性でリエントリー性と考えられている. これら特発性心室頻拍は通常頻拍中の血行動態は保たれており, 頻拍中の詳細なマッピングが可能であり, さらに不整脈発生源は限局しており, そのアブレーションの成績も90%以上の報告が多い⁴⁾. 一方, 心筋梗塞や心筋症に合併する心室頻拍は, 頻拍中の血行動態不良でマッピングが困難な例, 数種類の頻拍発生源を有する例や, 頻拍発生源が心外膜側や心筋層内に存在する例があり, その成績は良好とは言えない.

4. 当施設の現状

第一内科学教室では1991年より現在まで, すでに190例を越える症例に対しカテーテルアブレーションを施行している. 多摩永山病院内科では1996年6月より開始し1997年2月までの間に17例に施行した. その成績を表2に示す. WPW 症候群および房室結節リエントリー頻拍では全例成功し, その後抗不整脈薬の投与なしに再発例も見られていない. しかし, 房室結節リエントリーの1例ではアブレーション直後に一過性房室ブロックが出現した. 心房粗動5例中4例で下大静脈-三尖弁輪間のブロックを作成し成功した. 術後は合併した発作性心房細動の残存のため抗不整脈薬の投与を継続している例があるが, 心房粗動の再発は全く見られていない. 心室頻拍は不整脈源性右室異形成 (ARVD) の1例で持続性心室頻拍の発生源を標的

にアブレーションを行ったが, 術後7日目に行った誘発試験では頻拍が再度誘発され, 再度アブレーションを行う予定の症例である.

おわりに

カテーテルアブレーションは1990年代より我が国でも急速に普及しはじめ, その適応も拡大しつつある. また, アブレーションエネルギー源もマイクロ波, レーザー, 超音波などの応用が試みられ, 心房細動の治療への応用も試みられつつある. 今後さらなる発展が期待されるところである.

文 献

1. Jackman WM, Beckman KJ, McClelland JH, Wang X, Friday KJ, Roman CA, Moulton KP, Hazlitt HA, Prior ML, Oren J, Overholt ED, Lazzara R: Treatment of supraventricular tachycardia due to atrioventricular nodal reentry by radiofrequency catheter ablation of slow pathway conduction. N Engl J Med 1992; 327: 313-318.
2. Olgin JE, Kalman JM, Fitzpatrick AP, Lesh MD: Role of right atrial endocardial structures as barriers to conduction during human type I atrial flutter. Circulation 1995; 92: 1839-1848.
3. Poty H, Saoudi N, Aziz AA, Nair M, Letac B: Radiofrequency catheter ablation of type I atrial flutter. Prediction of late success by electrophysiological criteria. Circulation 1995; 92: 1389-1392.
4. Nakagawa H, Beckman KJ, McClelland JH, Wang X, Arreuda M, Santoro I, Hazlitt HA, Abdalla I, Singh A, Gossinger H, Sweidan R, Hirao K, Lawrence W, Pitha JV, Lazzara R, Jackman WM: Radiofrequency catheter ablation of idiopathic left ventricular tachycardia guided by a Purkinje potential. Circulation 1993; 88: 2607-2617.

(受付: 1997年2月20日)

(受理: 1997年3月3日)