

カテーテルアブレーションの現状と問題点

井野 威*

はじめに

カテーテルアブレーション治療は我が国においても近年めざましい普及がみられ、頻脈性不整脈の根治的治療の一手段としてその地位は確立されつつあるといっても過言ではない。米国におけるカテーテルアブレーション施行状況の統計¹⁾をみると(表1)、全体の登録患者数は1991年より急激に増加しているが、疾患別にみると、副伝導路アブレーション施行例数はほぼ横這い状態となっているのに対し、房室結節リエントリーは1993年から症例数が著しく増加しており、これはslow pathway アブレーション^{2,3)}の普及に伴うものと想像される。また心房粗動においても1993年から症例数の増加がみられ、通常型心房粗動のリエントリー回路の解明からアブレーション至適部位の決定が容易となったことの反映であろうと思われる。さらにこれら不整脈の機序解明以外にも、カテーテル、通電装置、といったhardwareの進歩にもめざましいものがある。しかしながら、一方ではアブレーション治療の問題点も多く残されており、本稿ではそれら問題点と今後の展望につき概説する。

副伝導路アブレーション

副伝導路アブレーションは直流通電による副伝導路離断の報告⁴⁾以来、長い歴史を有し、ラージチップカテーテルを用いた高周波アブレーションの行われる現在では、多くの施設で80~90%以上の治療成績がおさめられている¹⁾。しかしながら一部では初回のアブレーション治療が不成功に終わり再治療を要する例や、マッピングに難渋し、長時間にわたる放射線透視使用が必要な例もみられ、Moradyら⁵⁾はその原因の多くはカテーテル操作や不正確なマッピングに基づくものであるとしている。著者らの経験でも標的部位へのカテーテルの安定した留置が困難な例や、房室間を斜走する副伝導路例等で治療に難渋することが多い。標的部位への安定したカテーテル留置には術者のカテーテル操作への習熟度が大きく影響することはもちろんであるが、アプローチ法の変更や異なった形状、材質のカテーテルへの変更、ガイディングシースの利用といった工夫も大きく貢献する。マッピングに難渋する例としては、解剖学的に複雑な後中隔に存在する副伝導路や、自由壁でも房

表1 米国における catheter ablation 実施状況 (NASPE survey)¹⁾

| Type of Procedures | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 |
|-------------------------------|------|-------|-------|--------|--------|
| AV junctional | 268 | 529 | 1,513 | 1,600 | 2,142 |
| Accessory pathway | 64 | 771 | 4,879 | 4,521 | 5,427 |
| AV nodal modification (AVNRT) | | 320 | 2,503 | 3,305 | 5,423 |
| Atrial tachycardia/flutter | 17 | 67 | 316 | 317 | 1,139 |
| Ventricular tachycardia | 101 | 180 | 507 | 429 | 844 |
| Total | 450 | 1,867 | 9,718 | 10,226 | 14,975 |

*日本医科大学附属多摩永山病院内科

室間を斜走する副伝導路があげられる。斜走副伝導路は特に潜在性副伝導路例において心室側よりマッピングした場合に問題となり、著者らの施設の統計では斜走副伝導路は左側副伝導路症例の約10%にみられ、そのほとんどは心室側が心房側に比して冠静脈洞入口部寄りに付着していた。従って潜在性副伝導路例では逆行伝導中の心房側マッピングがより正確と考えられ、症例によってはブロッケンブロー法による経中隔アプローチも有用な方法である。さらにまれではあるが心外膜側副伝導路や近接した複数副伝導路、さらには分岐した multi-fiber 副伝導路もマッピングやアブレーションに難渋することが多い。この他、通電中の温度異常上昇はカテーテル先端への凝血塊付着、インピーダンス上昇をまねき、アブレーション治療の障害となるが、最近普及している温度コントロールシステムではかかる障害の発生頻度は非常に低くなっている。

房室結節リエントリー (AVNRT)

従来より AVNRT の興奮回路が房室結節内に限局しているか否かに関しては多くに議論があった。しかし Ross ら⁶⁾、Cox ら⁷⁾ による AVNRT の外科的根治手術成績や房室結節周囲 (Koch の三角) の詳細なマッピングの成績⁸⁾ から AVNRT の fast pathway は His 束近傍、slow pathway は冠静脈洞入口部近傍に心房筋との接合部が存在し、興奮回路は房室結節周囲の心房筋を含む Koch の三角に存在することが示された。AVNRT のアブレーション治療は当初、通常型 AVNRT 中あるいは心室ペーシング中の逆行性 fast pathway 伝導の最早期心房興奮部位を標的に fast pathway アブレーションが行われたが^{9,10)}、房室ブロックの発生が 2~10%にみられた。slow pathway アブレーションでは冠静脈洞入口部近傍の三尖弁輪を標的とする解剖学的アプローチ^{11,12)} および slow pathway potential を標的^{2,3)} として行われ、90%以上の成功率が多く施設の報告され、房室ブロック発生頻度も 0~1%と低く押さえられ¹⁾、現在主流となっている。しかし、房室結節周囲の構造は電気生理学的にも解剖学的にも未だ明かでない点が多い。例えば至適通電部位の指標の一つとして用いられる slow pathway potential は、スパイク的な Jackman 電位²⁾、ドーム状の Haissagerre 電位³⁾ が

知られるが、その意義については未だ解明されていない。実験的検討では slow pathway を形成する緩徐な刺激伝導性の細胞群からは Haissagerre 様電位が記録されるとの報告もある¹³⁾ が、臨床的には Haissagerre 電位は三尖弁輪中隔側でもやや高い compact AV node に近い位置で記録されることが多い。高位における通電は compact AV node に直接影響を及ぼし、房室ブロックを来しやすいため、通電に当たっては電位にのみとらわれず通電部位と compact AV node 間の解剖学的な距離を十分考慮する必要がある¹⁴⁾。一方、fast pathway の付着部位が通常より後下方に変位する例もあり¹⁵⁾、AVNRT 中あるいは心室ペーシング中の fast pathway を介する逆行性最早期興奮部位を同定する必要がある。さらに通電には junctional rhythm 中の逆行伝導の存在を確認する必要がある。

一方、slow pathway アブレーションの房室伝導に対する長期的影響は本法の歴史が5年に満たないことから不明である。電気生理学的には fast pathway は伝導速度は速いが房室伝導に対する safety factor は低く (不応期が長い)、slow pathway は伝導速度は遅いが safety factor は高い (不応期が短い) 経路と考えられる。さらに slow pathway が副伝導路のごとく anomalous な性格のものとは考え難く、slow pathway が房室伝導系に本来備わった safety factor の高い伝導系であるとすると slow pathway に対するアブレーションが長期的に20年後あるいは30年後の房室伝導能になんらかの影響を及ぼす可能性も否定はできないと考えられ、今後の課題である。

心房粗動、心房細動

心房粗動は II, III, aVF 誘導で陰性の鋸歯状波を呈する I 型心房粗動とそうでない II 型心房粗動に分類されている。I 型心房粗動は右房自由壁を下行し右房中隔側を上行する反時計方向の興奮回路 (図1) で、下大静脈と三尖弁輪に挟まれた狭部 (isthmus) に緩徐伝導が存在し、II 型心房粗動の一部は I 型心房粗動と同様の回路を時計方向に旋回することが明らかにされてきた。心房粗動に対するカテーテルアブレーションは当初、右房後中隔において記録される fractionated electrogram や, concealed entrainment により同定される緩徐伝導部位を標的¹⁶⁾ に、あるいは isthmus に

対する解剖学的アプローチ¹⁷⁾により行われたが、急性効果は80~100%と高いものの、17~44%で術後の心房粗動再発が認められた。このように急性期効果は良好でも再発率が高い原因としては、急性期の効果判定基準が心房粗動の停止および誘発抑制のみであったためと考えられる。しかし近

年、これら isthmus に block line を作成、確認することにより再発率は極めて低くなっている¹⁸⁾。図2に実例を示すが、IVC-TV 間の線状焼灼前後の右房低位側壁 (LRA) ペーシングを比較すると焼灼前では LRA → CS, LRA → HBE へと興奮伝搬がみられるが、焼灼後は LRA → HBE → CS へと伝搬様式が変化している。また、線状焼灼部において焼灼後 block line を挟んだ2つの興奮波による double potential がしばしば記録される。著者らの施設ではこのような isthmus の線状焼灼による block line 作成をこれまで5例に行っているが、未だ心房粗動の再発例はみられていない。さらに術前に心房細動も併発している症例では、isthmus のアブレーション後、心房細動の発生にも抑制傾向がみられることがある。これは心房粗動から細動へ移行しやすいケースで心房粗動の抑制が細動抑制効果を示しているとも考えられるが、未だその詳細は明らかになっていない。

心房細動のアブレーション治療では、従来レートコントロール困難な頻脈性心房細動に対して房室接合部あるいはヒス束アブレーションと恒久的ペースメーカー植え込みが行われてきた。しかし最

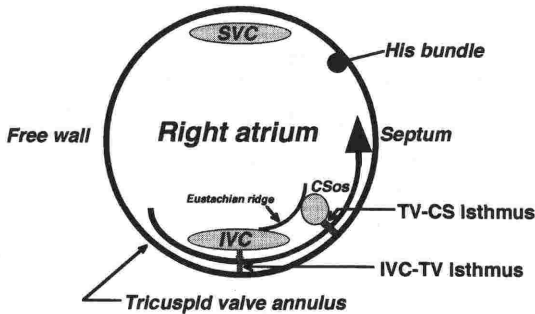


図1 I型心房粗動における興奮回路の下縁(太い矢印)。興奮は自由壁側を下降し大静脈-三尖弁輪間の峡部(IVC-TV isthmus)および三尖弁輪-冠静脈洞入口部間の峡部(TV-CS isthmus)を経て中隔側を上行する。

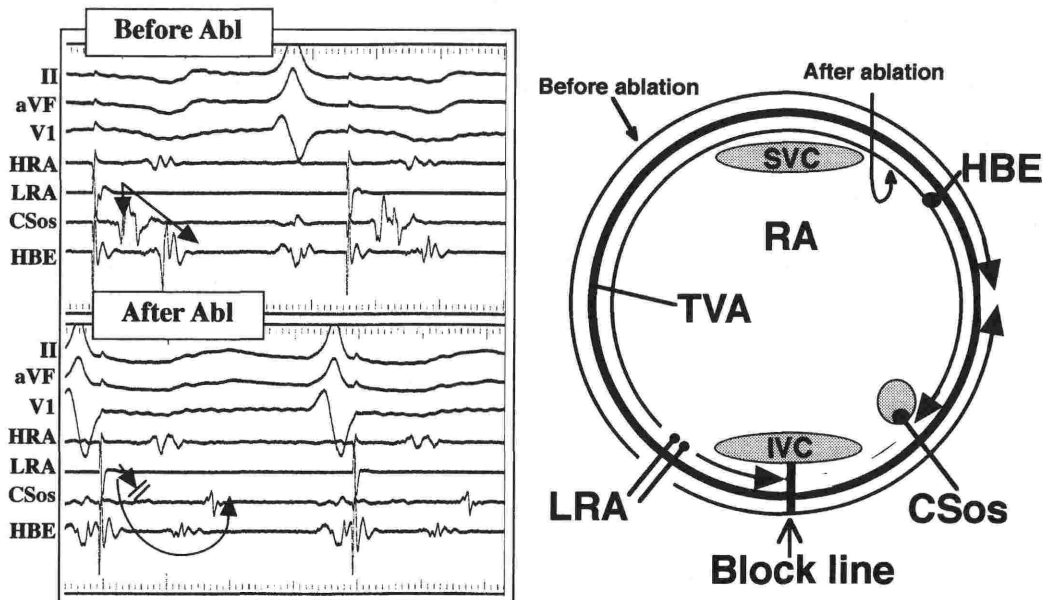


図2 I型心房粗動例に対するIVC-TV isthmusの線状焼灼によるblock line作成の実例。図左はアブレーション前(上段)、アブレーション後(下段)に記録した低位右房側壁(LRA)ペーシング中の心腔内電位図。図右はblock line作成によるLRAペーシング中の興奮伝搬様式の変化を示す。

近では房室ブロック作成することなく心房細動心拍数をコントロールする目的でアブレーションによる房室結節修飾 (modification) が試みられている¹⁹⁾。原理的には AVNRT の slow pathway アブレーションと同様、右房後中隔部に通電を行い不応期の短い slow pathway を遮断することにより RR 間隔の短い心拍を減少させるもので、約70%の症例で RR 間隔の延長がみられるとされている。近年外科的 Maze 手術による心房細動の治療も行われるようになってきたが、この Maze 手術の原理を応用して心房内で広範囲にわたる線状焼灼を複数箇所に加えることにより心房細動を治療する試みもあるが、未だ十分な評価は得られておらず今後の研究成果が待たれる所である。

心室頻拍

心室頻拍のアブレーションでは頻拍起源の詳細なマッピングのため、頻拍が単型性であること、再現性を持った誘発停止が可能なこと、頻拍中の血行動態が安定しているといった条件が必要である。さらに標的となる部位の空間的広がり、位置 (心内膜側か心外膜側か) もアブレーションの成績に大きく影響する。

臨床的に心室頻拍は陳旧性心筋梗塞や心筋症等の器質的心疾患を有する例と、器質的心疾患のない特発性心室頻拍に分けられ、両者の間でアブレーションの成績は大きく異なる。特発性心室頻拍には左室起源のものと右室起源のものがあるが、前者は持続性で、心電図上右脚ブロック上方軸を呈することが多く、verapamil に感受性でその機序はリエントリーと考えられている。左室内マッピングにより頻拍の起源近傍で Purkinje 電位が記録されることから、頻拍の発生に Purkinje network の関与が考えられている²⁰⁾。一方、右室起源のものはそのほとんどが流出路起源であり、心電図上左脚ブロック下方軸を呈することが多く、通常非持続性でその機序として triggered activity が推察されている。これら特発性心室頻拍では通常頻拍中の血行動態は良好に保たれており、頻拍中の詳細なマッピングが可能であり、また頻拍の起源が小さい範囲に局限していると考えられ、アブレーションも約80%～90%と良好な成績が示されている¹⁾。

一方、器質的心疾患を有する心室頻拍は、頻拍

のマッピングに必要な条件が満たされない例が多く、Kim ら²¹⁾によると連続387例の心室頻拍のうちカテーテルアブレーションの対象となり得たのは30例 (8%) に過ぎなかったとしている。除外された例は頻拍中の血行動態不安定例、急性虚血や未治療心不全例および non-clinical VT の誘発や多型性心室頻拍出現によるマッピング不能例等が含まれている。さらにカテーテルアブレーションを行った陳旧性心筋梗塞の21例についてみると、急性効果は81%で成功と判断されたが、その後抗不整脈治療なしで経過観察を行った例は5例にすぎず、多くの例はアミオダロンを含む抗不整脈薬投与および植込型除細動器の併用が必要であったとしている。陳旧性心筋梗塞等に伴う心室頻拍でアブレーションの適応となるのは、主に頻回に出現する治療抵抗性の血行動態の安定した単型性心室頻拍であり、血行動態の著しい悪化を伴うレートの高い心室頻拍や、多型性心室頻拍では ICD や抗不整脈薬の併用が必要となる。

おわりに

カテーテルアブレーションは頻脈性不整脈の強力な治療手段として、副伝導路症候群、房室結節リエントリー頻拍、心房粗動を中心にその適応を広げつつある。ここに列挙した問題点はその一部ではあるが、今後さらなる研究成果を踏まえ、より安全で、確実な治療法となるべく進歩が期待される。

文 献

- 1) Scheinman MM : NASPE survey on catheter ablation. PACE. 18 : 1474-1478, 1995
- 2) Jackman WM, Beckman KJ, McClelland JH, et al : Treatment of supraventricular tachycardia due to atrioventricular nodal reentry by radiofrequency catheter ablation of slow-pathway conduction. N Eng J Med 327 : 313-318, 1992
- 3) Haissaguerre M, Gaita F, Fischer B, et al : Elimination of atrioventricular nodal reentrant tachycardia using discrete slow pathway potentials to guide application of radiofrequency energy. Circulation 85 : 2162-2175, 1992
- 4) Jackman WM, Friday KJ, Scherlag BJ, et al : Direct endocardial recording from an accessory atrioventricular pathway : localization of the site of block, effect of antiarrhythmic drugs, and attempt at nonsurgical ablation. Circulation 68 : 906-916, 1983
- 5) Morady F, Strickberger A, Ching man K, et al : Reasons for prolonged or failed attempts at radiofrequency catheter ablation of accessory pathways. J Am Coll Cardiol 27 :

- 683-689, 1996
- 6) Ross DL, Johnson DC, Denniss AR, et al : Curative surgery for atrioventricular junctional ("AV nodal") reentrant tachycardia. *J Am Coll Cardiol* 6 : 1383-1392, 1985
 - 7) Cox JL, Holman WL, Cain ME : Cryosurgical treatment of atrioventricular node reentrant tachycardia. *Circulation* 76 : 1329-1336, 1987
 - 8) McGuire MA, Johnson DC, Nunn GR, et al : High resolution mapping of Koch's triangle using sixty electrodes in humans with atrioventricular junctional ("AV nodal") reentrant tachycardia. *Circulation* 88 : 2315-2328, 1993
 - 9) Huang SK, Bharati S, Graham AR : Closed chest catheter dissection of the atrioventricular junction using radiofrequency energy : A new method of catheter ablation. *J Am Coll Cardiol* 9 : 349-356, 1987
 - 10) Langberg JJ, Chin MC, Rosenqvist M et al : Catheter ablation of the atrioventricular junction with radiofrequency energy. *Circulation* 80 : 1527-1535, 1989
 - 11) Jazayeri MR, Hempe SL, Sra JS, et al : Selective transcatheter ablation of the fast and slow pathways using radiofrequency energy in patients with atrioventricular nodal reentrant tachycardia. *Circulation* 85 : 1318-1328, 1992
 - 12) Kay GN, Epstein AE, Dailey SM, et al : Selective radiofrequency ablation of the slow pathway for the treatment of atrioventricular nodal reentrant tachycardia. *Circulation* 85 : 1675-1688, 1992
 - 13) McGuire MA, de Bakker JMT, Vermeulen JT, et al : Origin and significance of double potentials near the atrioventricular node, correlation of extracellular potentials, intracellular potentials, and histology. *Circulation* 89 : 2351-2360, 1994
 - 14) Hintringer F, Hartikainen J, Davies W, et al : Prediction of atrioventricular block during radiofrequency ablation of the slow pathway of the atrioventricular node. *Circulation* 92 : 3490-3496, 1995
 - 15) Engelstein ED, Stein KM, Markowitz SM, et al : Posterior fast atrioventricular node pathways : Implication for radiofrequency catheter ablation of atrioventricular node reentrant tachycardia. *J Am Coll Cardiol* 27 : 1098-1105, 1996
 - 16) Feld GK, Fleck RP, Chen PS, et al : Radiofrequency catheter ablation for the treatment of human type 1 atrial flutter. Indication of a critical zone in the reentrant circuit by endocardial mapping techniques. *Circulation* 86 : 1233-1240, 1992
 - 17) Cosio FG, Lopez-Gil M, Goicolea A, et al : Radiofrequency ablation of the inferior vena cava-tricuspid valve isthmus in common atrial flutter. *Am J Cardiol* 71 : 705-709, 1993
 - 18) Poty H, Saoudi N, Aziz AA, et al : Radiofrequency catheter ablation of type 1 atrial flutter. Prediction of late success by electrophysiological criteria. *Circulation* 92 : 1389-1392, 1995
 - 19) Feld GK, Fleck RP, Fujimura O, et al : Control of rapid ventricular response by radiofrequency catheter modification of the atrioventricular node in patients with medically refractory atrial fibrillation. *Circulation* 90 : 2299-2307, 1994
 - 20) Nakagawa H, Beckman KJ, McClelland JH, et al : Radiofrequency catheter ablation of idiopathic left ventricular tachycardia guided by Purkinje potential. *Circulation* 88 : 2607-2617, 1993
 - 21) Kim YH, Sosa-Suarez G, Trouton TG, et al. Treatment of ventricular tachycardia by transcatheter radiofrequency ablation in patients with Ischemic heart disease. *Circulation* 1994 ; 89 : 1094-1102.