

カテーテルアブレーション

内藤 滋 人*

カテーテル・アブレーション(カテーテル心筋焼灼術)とは

高周波カテーテルアブレーション(RFCA: radiofrequency catheter ablation)は、カテーテルの先端より高周波による熱エネルギーを不整脈の発生活起源やリエントリー回路に加えることにより、薬剤抵抗性あるいは high risk の頻脈性不整脈、期外収縮を根治させる治療法である。

必要な装置として、アブレーションカテーテル、高周波通電装置のほか、電位記録解析装置、電気刺激装置、X線透視装置などが必要である。また近年、三次元 mapping が可能な装置(CARTO system, EnSite system など)も用いられている。

電気生理学的検査によって不整脈の機序および至適通電部位を決定し、300~750kHz(通常 500kHz 前後)の高周波電流を用い、カテーテル先端と背部対極板との間で通電する。電流、電圧、抵抗(インピーダンス)、先端温度をモニターして、通常 20~50Watt, 30~60 秒間の通電を行う。先端温度は 50~70 度に上昇し、心筋組織の凝固壊死が得られる。障害サイズの規定因子として、電流の強さ、通電時間、電極温度、電極接触面積、組織抵抗、血流が挙げられる。

先端電極が 4~8mm の deflectable large tip カテーテルが開発され、成功率および安全性が向上した。障害組織の深度は 3~8mm であり、安全性の面でも問題なく、WPW 症候群、房室結節回帰頻拍(AVNRT)などの上室性不整脈に対して非常に有用である。しかし、器質的心疾患に合併した心室頻拍(VT)は、focus が幅広くかつ心筋深層に存在するため、高周波通電での有効性には限界がある。

心筋深層まで到達可能な冷却機能付きカテーテルシステム(cooled tip と irrigation tip)が開発され、欧米では用いられているが、本邦では未だに認められていない。

カテーテルアブレーションの最大の利点は、薬物療法と異なり根治療法であるという点である。通常の症例では、3~4 日間の入院で施行可能であり、早期社会復帰も可能である。

カテーテルアブレーションの適応疾患(図1)

A. WPW 症候群(WPW syndrome)

WPW 症候群は高周波カテーテル・アブレーションの最も良い適応である。

副伝導路は、A 型では僧帽弁輪に、B 型では三尖弁輪に、C 型では中隔部に存在するため、EPS による詳細な検討が必要である。僧帽弁輪は CS からのカテーテルで、三尖弁輪は Halo カテーテルで mapping することが多い。

副伝導路を介した頻拍には、房室結節と副伝導路の間で心房、心室の一部を含め興奮が旋回する房室回帰頻拍(AVRT)と心房細動における無秩序な心房興奮が副伝導路を介して高頻度に心室を興奮させる偽性心室頻拍(pseudo VT)の 2 種類がある。

カテーテルアブレーションの適応不整脈	
・WPW 症候群	◎
・房室結節回帰頻拍	◎
・心房頻拍	○
・心房粗動(通常型)	◎
(非通常型)	△
・心室頻拍(特発性)	◎
(基礎心疾患)	△
・心房細動	○
・心室細動	X

◎: 95~100% ○: 60~90% △: 30~60% X: 0~10%

図1 カテーテルアブレーションの適応疾患と成功率

*群馬県立心臓血管センター循環器内科

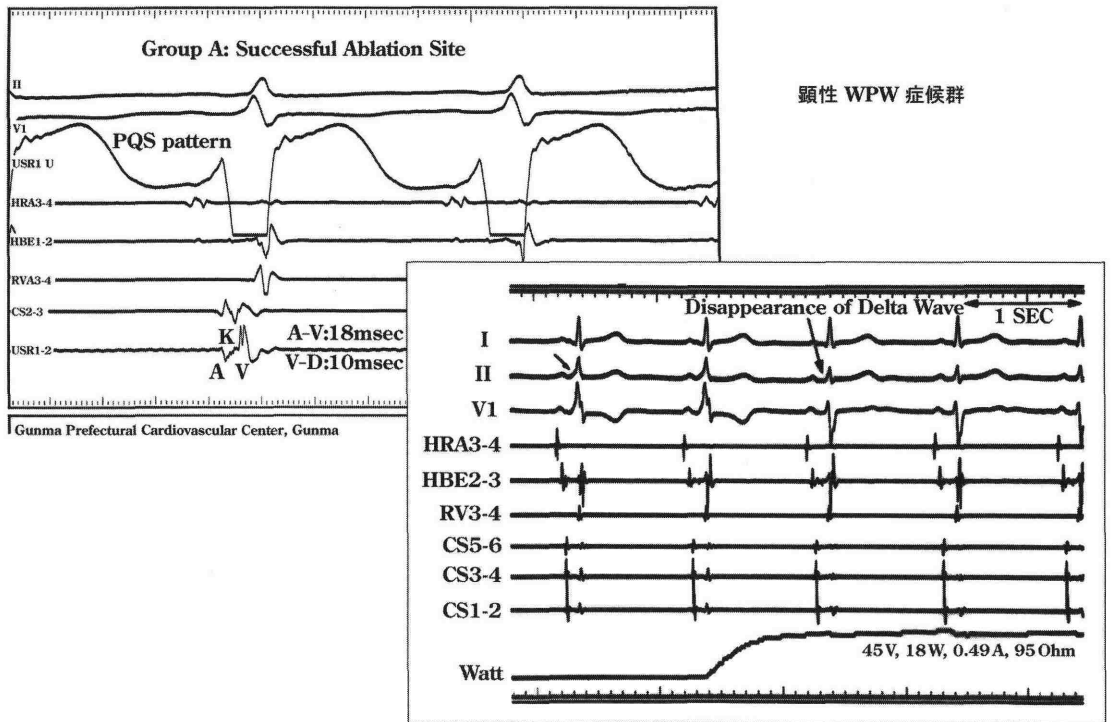


図2 顕性 WPW 症候群におけるアブレーション成功部位電位とアブレーションによる副伝導路の消失

AVRTには、順行性に房室結節伝導を、逆行性に副伝導路伝導を回帰するリエントリー(orthodromic AVRT)と、反対に順行性に副伝導路伝導を、逆行性に房室結節伝導を回帰するリエントリー(antidromic AVRT)があるが後者は非常に稀である。

顕性 WPW 症候群においては、アブレーションカテーテル先端電位を記録し、最短の A-V 間隔、Kent 束電位、単極誘導電位における PQS pattern を指標に通電部位を決定し、高周波通電にて副伝導路伝導を消失させる(図2)。

一方潜在性 WPW 症候群では、AVRT 中あるいは心室刺激中において、最早期の心房興奮部位を検討し、同部位にて焼灼を行う。

群馬県立心臓血管センターにて1994~2005年までに施行した WPW 症候群のアブレーション成功率は、803 例中 781 例(97.3%)であり、成功率は左側自由壁、右側自由壁、中隔の順に良好であった。したがって、薬剤抵抗性の WPW 症候群において、特に high risk 群(心房細動時の最短 R-R < 220msec あるいは副伝導路の有効不応期 < 250msec)では、第 1 選択と考えられている。近年ではその有効性の高さから、若年者や危険を伴う職業従事者(パ

イロット、ドライバー等)に対してその適応が拡大しつつある。

成功率の高い中で、やはり難渋例に遭遇する。難渋例に対する攻略法を以下に紹介する。

1. 中隔副伝導路

最も成功率が低かったのは右前中隔であり(16/25(64%))、正常房室伝導路への障害を危惧し焼灼を行わなかったためである。安全に成功させるためには、やや心室側において低出力から通電を開始し、接合部調律の出現で通電を中止することが重要である。特殊な例では大動脈無冠尖(NCC)からの通電が有用である。

次に困難であるのが後中隔である。II, III, aVF 誘導で QS pattern を呈する症例は、CS 内、MCV 内、CS diverticulum 内での通電が必要なことがある。この場合も低出力から通電を開始するが、抵抗が高く有効通電が得られないことも多い。心外膜側からの通電が必要な症例もある。また、後中隔の症例では正常房室伝導との鑑別を要するものがあり、その鑑別法として para-hisian pacing が有用である。

2. 右側自由壁

右側自由壁が左側に比し難しい原因として、カテーテル先端の固定の困難性が挙げられる。特に右側壁から後側壁が難しく、その対処法として long sheath (SRR3) の使用が有用である。また右前壁から前側壁では、鎖骨下静脈アプローチが有用である。

カテーテルの固定を工夫しても心内膜側からは焼灼困難な症例は明らかに存在し、そのような症例では心外膜側からのアプローチを考慮する。

さらに特殊な例として、右心耳から右室に直接附着するもの、また Mahaim fiber が atrio-fascicular fiber として右側壁に存在する症例も多い。

3. 左側自由壁

左側自由壁の成功率は高いが、難渋例に対する基本的な技法として弁上アプローチ法がある。弁上アプローチには経中隔法と逆行性法があり、症例に応じて使い分ける。さらに、副伝導路の斜走や CS musculature の問題があり、電気生理学的に最早期的的確に捕らえる必要がある。

再発率は7%前後と報告されている。再発は十分な焼灼が得られず、一過性に伝導が途絶した症例

であり、右側自由壁副伝導路症例に多い。

B. 房室結節回帰頻拍 (atrio-ventricular nodal reentrant tachycardia: AVNRT)

AVNRT は、房室結節周囲の2重伝導路(速伝導路(fast pathway)と遅伝導路(slow pathway))におけるリエントリーによって生じる。薬剤抵抗性のAVNRT もカテーテルアブレーションの良い適応である。

AVNRT は、興奮が slow pathway を順行性に、fast pathway を逆行性に旋回する通常型 AVNRT (common type, slow/fast AVNRT) と、fast pathway を順行性に、slow pathway を逆行性に旋回する非通常型 AVNRT (uncommon type, fast/slow AVNRT or slow/slow AVNRT) の2種類がありいずれも根治可能である。

後中隔 (Koch の三角内) の slow pathway 領域における slow pathway ablation が確立され、成功率も95~100%と高く房室ブロックの合併も少ない(図3)。したがって、薬剤抵抗症例、若年者で長期の薬剤服用が必要な症例などにおいて、QOL の改善を目指す意味で有用である。

AVNRT に対する RFCA は、解剖学的指標および

房室結節回帰頻拍に対する catheter position

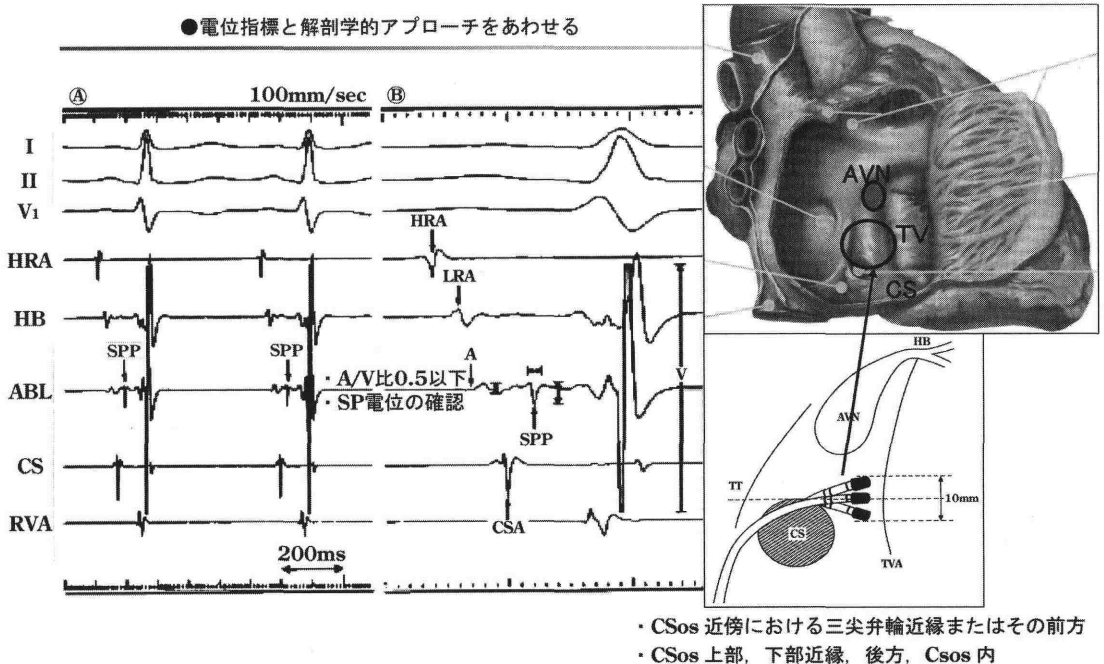


図3 房室結節回帰頻拍に対するアブレーション

心内電位指標をもとに、後中隔の slow pathway 領域を焼灼する。心内電位としては Jackman 電位、Haissaguerre 電位などの slow pathway potential が報告されている。通電成功指標として、slow pathway 障害に十分な熱の発生を示すと考えられている房室接合部調律 (junctional rhythm) の出現が挙げられる。End point は slow pathway の消失あるいは isoproterenol 下心房 2-3 発早期刺激による 1 心房 echo までとしている。

通常型に比し、非通常型において難渋例が多く、特に slow/slow AVNRT 例では冠静脈洞内での通電を要するものも多い。

群馬県立心臓血管センターにて 1994~2005 年までに施行した AVNRT のアブレーション成功率は、826 例中 812 例 (98.3%) であり、非成功例の大半は slow/slow AVNRT で逆行性の slow pathway の完全焼灼不可能例である。

再発率は 5~15% と幅広く報告されている。将来の房室伝導系に対する影響が当初は心配されたが、約 7~8 年の経過観察期間において特に問題はなく、AVNRT の根治療法として確立されてきている。

C. 心房頻拍 (Atrial Tachycardia: AT)

心房頻拍は、心不全症状を呈することも多く、その機序によって、triggered activity や automaticity による異所性心房頻拍と reentry によるリエントリー性心房頻拍に分けられる。

異所性心房頻拍の好発部位は、右房では crista terminalis (CT)、上大静脈 (SVC)、冠静脈洞 (CS) に多く、左房では肺静脈入口部周囲に多い。異所性心房頻拍の mapping には focus の同定に有用な EnSite mapping が優れている。カテーテルアブレーションの成功率は 80~95% であり、右房自由壁、左房、心房中隔の順に容易である。

リエントリー性心房頻拍は、洞結節周囲心房頻拍 (sinus nodal AT)、外科的切開線周囲心房頻拍 (incisional AT) などが日常的によく遭遇する。Incisional AT は心臓手術後に認められ、右房切開線周囲を旋回するリエントリーであり、切開線から下大静脈間を焼灼してリエントリー回路を切断する。

D. 心房粗動 (Atrial Flutter: AFL)

心房粗動は通常型と非通常型の 2 種類に分けられる。

通常型心房粗動 (common AFL) は、12 誘導心電図の II, III, aVF 誘導にて鋸歯状の陰性 F 波を有し、そのリエントリー回路が明らかとなっている。すなわち右房内において、右房側壁の pectinate muscle を下降し、三尖弁輪 (TA)-下大静脈 (IVC) 間の峡部 (isthmus) を通った後に心房中隔を上行する反時計回転のリエントリーである。さらに、非通常型に分類されるが、同回路を逆に時計方向に旋回する reverse common AFL もしばしば遭遇する。

心房粗動に対するカテーテルアブレーションの適応として、(1) 心房粗動発作時に 2:1 あるいは 1:1 伝導に伴う頻脈によって、血行動態的破綻 (血圧低下、失神、Adams-Stokes 発作など) を来たす症例、(2) 各種抗不整脈薬抵抗性の症候性心房粗動症例が挙げられる。

さらに、発作性心房細動症例において、Ia or Ic 群抗不整脈薬を投与することにより、通常型心房粗動に移行することがしばしば経験される。そこで、各種抗不整脈薬によって心房細動から通常型心房粗動に移行した症例において、TA-IVC 間 isthmus の両方向性伝導ブロックを作製することにより、合併する発作性心房細動が抑制されたとの報告がなされ、Hybrid therapy として注目されており、現在の心房粗動に対するカテーテルアブレーション適応症例の多くを占めている。

電気生理学的には、右房内に 20 極の Halo catheter を挿入し、反時計方向の伝導パターンを記録した後、TA-IVC isthmus より刺激を加え、concealed entrainment と post pacing interval の一致を確認する。

カテーテルアブレーションは、TA-IVC isthmus を線状に焼灼し、両方向性の complete conduction block を確認する (Halo 法と differential pacing 法) (図4)。

通常型心房粗動の成功率は 95~100% と良好であり、block line の作製後の AFL 再発は稀である。それに対して、reverse common AFL 以外の非通常型心房細動の多くは左房起源であり、CARTO mapping などを要し、難渋例もある。

E. 心房細動 (Atrial fibrillation: A Fib)

1. 房室接合部アブレーション: rate control

心房細動においては、薬剤による心拍数コントロールが困難な症例や rapid ventricular response が

AFL was terminated during RFCA



図4 カテーテルアブレーションによる心房粗動の停止

原因で致死的不整脈を生じる症例に対して、房室接合部のアブレーションが施行されている。

通常は、房室ブロックを作製し恒久的ペースメーカー植え込みを行い、成功率は95%以上である。また一部の施設では、ペースメーカーの植え込みを必要としない程度に房室伝導を抑制して心拍数をコントロールする房室伝導修飾術も施行されているが効果は一定しない。

また、心不全症例においてはアブレーション後の右室心尖部ペーシングは左室壁運動の dyssynchrony を招来し、更なる心不全の悪化を来すため、右室中隔ペーシング、あるいは両心室ペーシング (cardiac resynchronization therapy: CRT) を選択する必要がある。

2. 心房細動アブレーション: rhythm control

心房細動はその機序として、multiple wavelets による multiple reentry 説が主流であった。しかし、1998年に Haisaguerre らが、発作性心房細動発症の trigger として、肺静脈起源の巣状興奮の関与を報告して以来¹⁾、心房細動に対するカテーテルアブレーションは目覚ましい進歩をとげてきている。

心房細動に対するカテーテルアブレーションは、肺静脈を中心とする巣状興奮 (focal trigger) による心房細動発生の要因と拡大、変性した左心房筋を中心とする器質 (substrate) による心房細動維持の要因を考慮する必要がある。現在、心房細動対

するカテーテルアブレーションの方法として、肺静脈 focal ablation, 4本の肺静脈隔離術, 拡大肺静脈隔離術, complex fractionated atrial electrogram (CFAE) を指標とする左右心房焼灼術などが施行されている。

当初より行われた4本の肺静脈を個々に隔離する肺静脈隔離術に対して、拡大肺静脈隔離術は、左右肺静脈から antrum にかけての左房後壁をL字型に線状焼灼し、前壁は電位指標によって肺静脈-左房入口部においてポイントで焼灼する方法であり、肺静脈 trigger と左房の substrate の両者を抑制可能である (図5)。また近年報告された CFAE を指標とする左右心房焼灼術は、trigger としての肺静脈の隔離は全く考慮せず、左房および右房における CFAE を指標として左右心房の substrate の根絶を目標とするものである。

心房細動に対するカテーテルアブレーションの成功率は、年齢、心房細動歴、左房径などにより異なる。また発作性、持続性、慢性という分類によっても異なる。したがって、個々の症例の特徴を把握し、上記のいずれの方法が適しているかを十分評価、検討し治療にあたるべきである (tailored approach)。さらには、血栓、塞栓症、肺静脈狭窄ならびに閉塞、atrio-esophageal fistula、迷走神経障害、横隔神経障害などの合併症を回避する必要がある。

拡大肺静脈隔離術

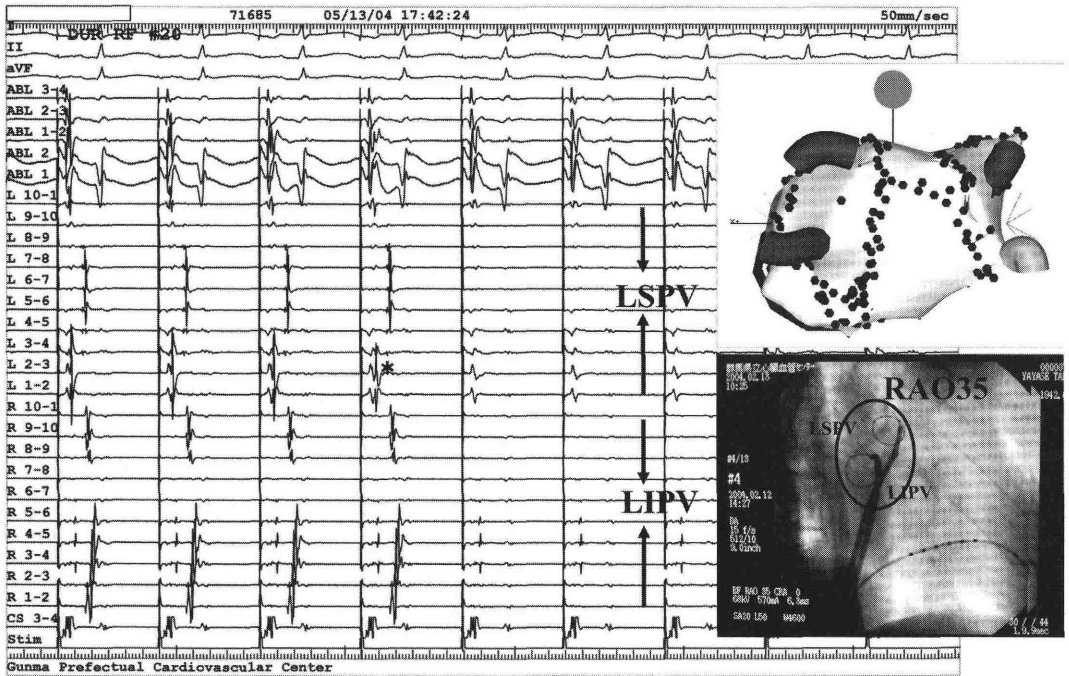


図5 心房細動に対する拡大肺静脈隔離術

Catheter ablation for atrial fibrillation

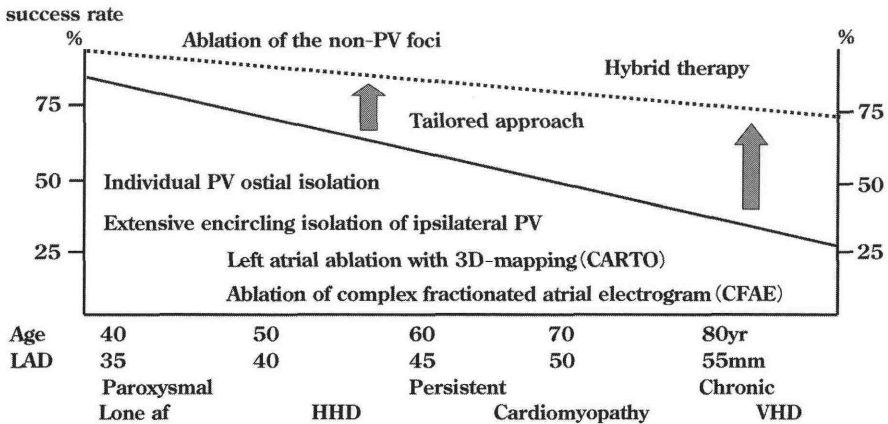


図6 心房細動に対するカテーテルアブレーションの成功率

現況では、比較的若年者で、左房の拡大がない薬剤抵抗性の孤立性発作性心房細動においては、75~80%の成功率が期待できる(図6)。AFFIRM試験の対象に多い高齢者で症状のない持続性例は適応とならない。

F. 心室頻拍 (Ventricular Tachycardia: VT)

心室頻拍には、器質的心疾患を有さない特発性VTと器質的心疾患を有するVTの2種類に分けら

れる。

特発性心室頻拍には、(1)右室あるいは左室流出路起源のもの(OT-VT)、(2)左室後下壁のプルキンエ線維のmicro-reentryによるもの(LF-VT)(右脚ブロック+左軸偏位(RBBB+LAD)を呈するverapamil sensitive VT)の2種類がある。

OT-VTは近年の検討により、右室流出路起源のみならず、左室流出路(左冠尖、左室内膜、左室

心外膜)にも起源を有することが明らかとなった。機序は撃発活動, 異常自動能, リエントリーのいずれも報告されている。左室流出路 VT は, カテーテルアブレーション(RFCA)成功部位にて spike potential が記録されることより, purkinje 線維の dead-end pathway 説が有力である。カテーテルアブレーションは, 12 誘導心電図からアルゴリズムによって起源部位の推定が可能であり²⁾, その成功率は左室心外膜起源を除けば 90~95%である。一方 LF-VT は, 心内膜, 腱索, 乳頭筋などにおける purkinje 線維の network における verapamil 感受性リエントリーを機序とする VT である。リエントリー回路の部位から, 左脚後枝領域の VT(右脚ブロック+左軸偏位型)と左脚前枝領域の VT(右脚ブロック+右軸偏位型)に分けられ, 前者の頻度が高い。カテーテルアブレーションは拡張期 purkinje 電位や VT exit に先行する purkinje 電位を指標に焼灼を行い, 成功率は同様に 90~95%である。

器質的心疾患(陳旧性心筋梗塞, 拡張型心筋症, 不整脈性右室異形成症 (ARVC) 等)を有する心室頻拍はリエントリー回路が心筋の深層にあり, また数カ所で広範囲にあることもあり, 非常に複雑である。

血行動態が保たれる症例では, VT mapping を行う。すなわち, VT 中に拡張期電位(diastolic potential)や前収縮期電位(presystolic potential)が記録される部位からペーシングを行い, ペーシング部位が緩徐伝導部位上にある場合は, 刺激部位からの興奮波の伝搬は VT 中と同一になるため, QRS 波形は VT 波形と完全に一致しながら頻拍周期がペーシング周期に一致する concealed entrainment が得られる。さらに刺激中止後の同部位の post-pacing interval (PPI)が VT 周期に一致すること, および entrainment 中の St-QRS 時間が VT 中の局所電位(拡張期電位)から QRS までの時間に一致すること(DP-QRS=St-QRS)を確認する。

さらに近年, 磁場を利用しカテーテルの 3 次元的位置関係と電氣的興奮の伝達や電位の大きさなどが同時に mapping 可能な electro-anatomical mapping (CARTO mapping)が開発され, VT の複雑な回路の診断に役立っている。

近年, VT mapping のほかに, CARTO system をもちいた substrate mapping の有用性が報告されて

いる³⁾。Isthmus, channel といった VT 回路の障害が可能となり, 血行動態の破綻例でも適応可能であり注目されている。

しかし, 器質的心疾患を有する心室頻拍に対するカテーテル・アブレーションの成績はまだ十分ではない(50~70%)。心筋深層の焼灼が可能なカテーテルシステムの開発(冷却機能付きカテーテルなど)が進められているが, 現状では class III の薬剤や植込み型除細動器(ICD)の適応を含めた総合的な検討が必要である。

G. 心室細動 (Ventricular fibrillation: Vf)

心室細動は致死的不整脈であり, 速やかな処置および危険例においては植込み型除細動器(ICD)の使用が推奨される。しかし, 近年心室細動の引き金(trigger)となる心室性期外収縮をターゲットとするカテーテルアブレーションが報告されている⁴⁾。

特にそのような心室性期外収縮の特徴として, 右室流出路起源のものと, 左室プルキンエ線維由来のものが注目されている。Brugada 症候群ならびに QT 延長症候群に対する効果は少ないが, 心筋梗塞後の electrical storm 例などに対して, 有効例の報告が散見される。

カテーテルアブレーションの合併症

カテーテルアブレーションの合併症は 0.5~2.0%と報告されている。

1. 穿孔, 心タンポナーデ

心嚢ドレナージで済むことが多いが, 時に外科的手術が必要なことがある。

2. 血栓症, 塞栓症

脳塞栓, 一過性虚血発作, 安静解除後の肺塞栓に注意が必要である。

3. 完全房室ブロック

AVNRT 症例, 前中隔副伝導路例において特に注意が必要である。

4. その他

大動脈弁閉鎖不全, 冠動脈攣縮, 放射線皮膚障害, 横隔神経障害など。

5. 心房細動アブレーションに特有なもの⁵⁾

肺静脈狭窄, 閉塞, 左房-食道 fistula, 迷走神経障害など。

文 献

- 1) Haissaguerre M, Jais P, Shah DC, et al: Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med* 1998; 339: 659-66.
- 2) Ito S, Tada H, Naito S, et al: Development and validation of an ECG algorithm for identifying the optimal ablation site for idiopathic ventricular outflow tract tachycardia. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2003; 14: 1280-6.
- 3) Soejima K, Stevenson WG, Maisel WH, et al: Electrically unexcitable scar mapping based on pacing threshold for identification of the reentry circuit isthmus. *Circulation* 2002; 106: 1678-83.
- 4) Haissaguerre M, Shoda M, Jais P, et al: Mapping and ablation of idiopathic ventricular fibrillation. *Circulation* 2002; 106: 962-7.
- 5) Cappato R, Calkins H, Chen SA, et al: Worldwide survey on the methods, efficacy, and safety of catheter ablation for human atrial fibrillation. *Circulation* 2005; 111: 1100-5.