# カテーテルアブレーション治療

因田恭也\*

## 内容紹介

現在、カテーテルアブレーションは、頻脈性不整脈の第一の治療法といってよいほど普及している。その背景には、医療機器の進歩により安全で確実な治療法となってきたこと、そのためには不整脈機序が解明され、不整脈起源やリエントリー回路が同定できるシステムが開発されたことが大きな要因である。本項では、カテーテルアブレーション治療の進歩を、三次元マッピング装置の進歩、治療用カテーテルの進歩、アプローチ方法の進歩、アブレーション可能不整脈の増加、の順に概説し、さらに難治性不整脈の治療として、心房細動、心室期外収縮・心室頻拍、Brugada 症候群・心室細動のアブレーションについて説明する。

# はじめに

カテーテルアブレーションは、カテーテルを用いて 頻脈性不整脈の起源やリエントリー回路を焼灼・破壊 し、不整脈を根治・抑制する治療法である。現在では 一部を除きほぼすべての頻脈性不整脈に応用されて おり、日本国内でも多くの施設で施行され、年間7万 件以上の症例の治療が行われている。このようにアブ レーション治療が普及した背景には、不整脈の機序の 解明が進んだことともに、治療器具の進歩が重要な役 割を担ってきた。さらにこれまで治療不可能であった 長期持続性心房細動や心室細動などの不整脈のなかに も良好な成績が得られる症例も見受けられる。本項で は、最新のカテーテル周辺機器の進歩や不整脈治療に ついて概説する。

## I. 三次元マッピング装置の進歩

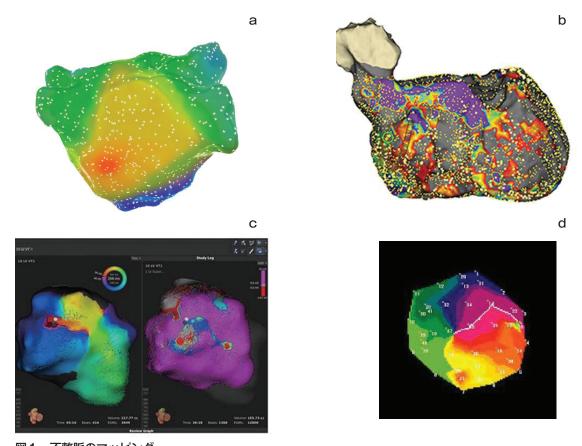
カテーテル治療に用いる機器のなかでも、三次元マッピング装置の進歩には目を見張るものがある。昔、心臓電気製検査においては、ほんの数カ所の心内心電図をみつめながら不整脈診断を行っていたものであるが、現在ではCTやエコーを用いて心臓の立体画像を作成し、そのなかに心筋ダメージのある部位(不整脈基質)や心内の興奮伝播の様子、不整脈の旋回回路を示すことが可能となった。このことにより不整脈の発生源や不整脈回路が可視化され、容易に不整脈機序が理解できるようになった。当然のことながら不整脈の治療部位も同定され、治療の成功率も上がることとなった。

三次元マッピング装置は以前より CARTO システム(図1a), EnSite システム(図1b)が広く使われてきた。これらのシステムもさらに改良が進み, 高精度に心臓立体構造を描出できるようになってきている。さらにミニバスケットカテーテルを用いて詳細なマッピングが可能なリズミアシステム(図1c)や心房細動中の興奮旋回を可視化できる extra マッピングシステム(図1d)が開発され, より詳細な興奮伝播の検討が可能となり, 治療の可能性も向上した。

<sup>-</sup>Key words -

カテーテルアブレーション, 頻脈性不整脈

<sup>\*</sup> Yasuya Inden:名古屋大学大学院医学系研究科循環器内科学



**図 1 不整脈のマッピング**CARTO システム (a), EnSite システム (b), リズミアシステム (c), Extra マッピングシステム (d)。
(筆者作成)

#### Ⅱ. 治療用カテーテルの進歩

従来、電極カテーテル先端より高周波エネルギーを 用いて心筋を焼灼し治療を行ってきた。カテーテル先端を立体画像のなかに描出し、通電部位を表示・記録 可能である。焼灼巣を大きく深くするため、先端電極 付近での血栓形成を予防するために、カテーテル先端 より水を流出させながら通電するイリゲーションカ テーテル(図2a)が開発され、安全性が高まった。さ らに先端の心筋との接触圧をモニタリングできるカ テーテル(図2b)が開発され、適切な加圧により有効 な焼灼が可能となるとともに、過加圧による心筋穿孔 を避けられるようになった。

またこれまでの高周波通電を行う電極とは異なるバルーンカテーテルが登場し、バルーン内を冷却するクライオバルーンカテーテル(図2c)や、バルーン内の水を温めるホットバルーン(図2d)、バルーン内からレーザーを発射するレーザーバルーン(図2e)が用いられている。これらのシステムは心房細動治療時に肺静脈に対して使用され、簡便であり治療成功率向上に寄与している。

#### Ⅲ. アプローチ方法の進歩

解剖学的に、右心房・右心室へは経静脈的アプローチ、左心室・左心房へは経大動脈的アプローチにてカテーテルをマッピングが必要な心腔へ到達させる。しかし、経大動脈アプローチによる左心房内でのカテーテル操作は極めて困難である。また、大動脈の石灰化や蛇行がある場合には左心室でのカテーテル操作が困難あるいは合併症リスクを伴い、大動脈弁装着患者では左心室へ挿入できない。このような場合には右心房から左心房へ中隔穿刺(ブロッケンブロー)を行い、経心房中隔的に左心房・左心室でのカテーテル操作を行う。心房細動治療ではほぼ必須な方法である。現在は心内エコーを用いて穿刺部位を決定し、高周波ブロッケンブロー針を用いて安全に穿刺できる。

また,心室性不整脈の起源が心外膜側にある場合には,心内膜側からの通電では焼灼できない。この場合には,心嚢内にアブレーションカテーテルを挿入しマッピング・通電を行うことがあり,心外膜アプローチとよぶ。穿刺は決して容易ではないが,心窩部あるいは前胸部から慎重に穿刺を行う。心室頻拍では心外

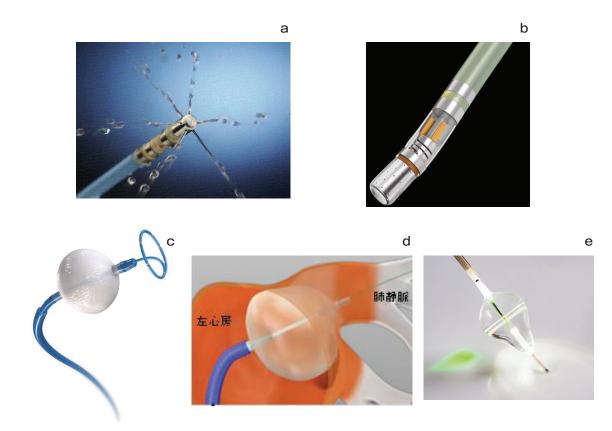


図2 アブレーションカテーテル イリゲーションカテーテル(a), 圧センサーカテーテル(b), クライオバルーン(c), ホットバルーン(d), レーザーバルーン(e). (筆者作成)

膜アプローチが有用な症例がしばしば経験される。

## Ⅳ. アブレーション可能不整脈の増加

アブレーションが日本でも行われるようになった当初は、WPW (Wolff-Parkinson-White) 症候群のみ治療可能であった。その後、通常型心房粗動、心室期外収縮、房室結節リエントリー性頻拍、心室頻拍、心房期外収縮、心房細動、心室細動の一部などが治療対象となり、ほぼすべての不整脈がアブレーションにより治療効果が上げられるようになってきた(表)<sup>1)</sup>。これは、すでに述べた三次元マッピング装置など検査機器の進歩により、不整脈メカニズムがより詳細に解明され、さらにアブレーションの不整脈停止効果により、そのメカニズムが検証・証明されてきた。アブレーションの進歩はまさに不整脈機序解明・不整脈研究成果とともに発展してきた。

房室結節リエントリー性頻拍は、昔、房室結節内に 二重伝導路が存在し、その2本の伝導路の間で旋回し ているとの概念であった。しかし、房室結節から2cm も下方での焼灼により頻脈が停止することより、房室 結節外に回路が存在することが証明された。速伝導路 が房室結節前方より侵入し、遅伝導路は下方より侵入 しており、遅伝導路のアブレーションが有用である。 しかし二重伝導路が存在するとの概念は、リエント リーの説明に必要な素晴らしい発想であった。

房室結節リエントリー性頻拍やWPW症候群に伴う房室回帰性頻拍などは、発作性上室性頻拍症(paroxysmal supraventricular tachycardia: PSVT)としてまとめられるが、現在はほとんどすべてのPSVTがアブレーション適応と考えられる。通常型心房粗動は右心房内の三尖弁周囲を旋回するように興奮が伝播しており、三尖弁下大静脈間峡部を必ず通過する。そのため通常型心房粗動の焼灼部位は三尖弁下大静脈間であり、ほぼ根治が望める。

また、先天性心疾患や僧帽弁手術後に心房の切開創の周りを旋回する心房頻拍(非通常型心房粗動)が生じることがある。これらの治療も三次元マッピング装置および他電極カテーテルを用いて詳細に検討することにより、頻拍回路を同定でき、根治可能である。

#### V. 心房細動のアブレーション

心房細動は脳梗塞や心不全の誘因となり、またその 発症率も高いため、積極的に治療が行われている。脳 梗塞の発症リスクに応じて抗凝固療法は必須であり、

|                | 施行数   | 再セッション数(%)   | 急性期合併症(%) | 急性期成功率 |
|----------------|-------|--------------|-----------|--------|
| WPW 症候         | 614   | 67 (10.9)    | 8 (1.3)   | 94.6   |
| WPW 症候群(無症候)   | 27    | 6 (22.2)     | 1 (3.7)   | 74.1   |
| その他の副伝導路       | 14    | 4 (28.6)     | 0 (0)     | 85.7   |
| 潜在性副伝導路        | 401   | 50 (12.5)    | 6 (1.5)   | 96.3   |
| 房室結節リエントリー性頻拍  | 1,412 | 130 (9.2)    | 24 (1.7)  | 98.4   |
| 洞房結節リエントリー性頻拍  | 25    | 0 (0)        | 0 (0)     | 100    |
| 不適切洞性性頻拍       | 7     | 2 (28.6)     | 0 (0)     | 100    |
| 心房期外収縮         | 26    | 6 (23.1)     | 1 (3.8)   | 88.5   |
| 心房粗動           | 1,966 | 227 (11.5)   | 26 (1.3)  | 97.9   |
| 心房頻拍           | 538   | 97 (18)      | 12 (2.2)  | 77.3   |
| 術後心房頻拍/心房粗動    | 150   | 28 (18.7)    | 2 (1.3)   | 88     |
| CA 関連心房頻拍/心房粗動 | 67    | 45 (67.2)    | 3 (4.5)   | 86.6   |
| 房室接合部離断        | 87    | 8 (9.2)      | 1 (1.1)   | 89.7   |
| AF             | 2,260 | 492 (21.8)   | 41 (1.8)  | _      |
| 心室期外収縮         | 309   | 46 (14.9)    | 3 (1.0)   | 78.6   |
| 非接続性 VT        | 280   | 28 (10)      | 1 (0.3)   | 81.1   |
| 接続性 VT         | 362   | 69 (19.1)    | 12 (3.3)  | 84     |
| 計              | 8,545 | 1,305 (15.3) | 141 (1.7) | _      |

表 アブレーション対象不整脈別の合併症および急性期成功率

(文献1より引用)

心拍数調節のための薬物治療も行われる。しかし、心 房細動は心房筋の線維化がその発症・維持に関与して おり、心房細動の持続は心房負荷・炎症を助長し、心 房筋線維化がさらに進行すると考えられている。心房 細動の洞調律化を目指すために抗不整脈薬による薬物 治療が従来行われてきたが、薬物療法の限界はすでに 指摘されているところである。そこで非薬物治療であ るアブレーションが広まってきたのであるが、持続性 心房細動でもその持続期間が長くなるとアブレーショ ン成功率は極端に低下する。そのため心房細動を容易 に治せるうちに、つまり発作性心房細動の時点で、あ るいは持続性になってまだ間もないうちにカテーテル アブレーションを行ったほうが、洞調律維持効果は高 いと考えられる。さらに洞調律を維持することにより、 その後の脳梗塞発症や死亡率を低減させると報告され ている。心不全患者においてもその効果は認められ、 心機能改善効果もある。さらに洞調律維持により腎機 能の悪化も抑制可能で、心臓突然死も減少し、認知症 予防効果も報告されている。そのため現在は積極的に 心房細動アブレーションが行われている。ガイドライ ン上のアブレーション適応は症候性心房細動でⅠある いはIIaであり、無症候性ではIIbであるものの、その 有用性を患者ごとに検討し、効果があると判断される ならアブレーションを勧めるべきと筆者は考える。

発作性心房細動の機序は,上室性期外収縮が心房細動のトリガーとなり心房細動が発症することである。

上室性期外収縮のおよそ 9 割が肺静脈内に侵入した心 房筋起源と報告されており、まず肺静脈の期外収縮を 抑制することが必要である。以前は期外収縮起源を直 接焼灼していたが、手技中に期外収縮がなかなか出現 しないため起源同定が困難であり、さらに、肺静脈内 での焼灼により肺静脈狭窄・閉塞の合併症が認められ た。そこで、肺静脈の外側の心房側で肺静脈を囲い込 むように通電し、肺静脈を左心房から隔離する方法が 考案された(図 3a)。次いで、上下の肺静脈をそれら の前庭部も含んで大きく囲い込むことにより成功率向 上がもたらされた。さらに、左心房後壁も心房細動発 生維持に関与すると考えられるため、メイズ手術のよ うに後壁を含んだ肺静脈隔離(box 隔離)も考案された (図 3b)。持続性心房細動においては、通電中に心房 細動が停止すると経過がよいと考えられており、さま ざまな通電方法が考案されている。心房細動中に複雑 電位(CFAE: complex fractionated atrial electrogram) が認められる部位の通電, 天井や僧帽弁輪部の通電, 低電位部位通電、上大静脈隔離などが行われている。 また心房細動の機序の1つにスパイラルリエントリー があり、その旋回(ローター)が心房細動維持にかか わっているという報告がある。そのため、前述した extra マッピングでローターを同定し、通電すること により心房細動停止・心房粗動化が得られる。われわ れもこの方法を取り入れ、良好な成績を得ている。

肺静脈隔離の方法として、従来の高周波による方法

b

**図3** 心房細動のアブレーション 肺静脈隔離(a), box 隔離(b).

Manual

Acquire

410 -96 0.02 165 PA NO RAO LA RAY SAN

(筆者作成)

以外にバルーンによる方法が考案された。バルーンを 肺静脈に密着させ、冷却あるいは温熱により、肺静脈 入口部を一括焼灼する方法であり、短時間で治療可能 で、比較的容易であるため成功率が高い方法である。 現在、クライオバルーン、ホットバルーンが導入され ている。またバルーンを密着させたあと、バルーン内 から直視下に肺静脈をレーザー照射し、焼灼隔離する レーザーバルーン治療も行われており、高い洞調律維 持が報告されている。

## VI. 心室期外収縮・ 心室頻拍のアブレーション

心室期外収縮の発生部位は、右室流出路が多いものの、大動脈冠尖、僧帽弁弁輪部、乳頭筋、ヒス束近傍、左心室頂部(サミット)、プルキンエなどが起源となる。体表面心電図で起源を推測し、カテーテルを関心領域に配置しマッピングを行う。またペースマッピング法も併用する。自動能亢進による機序が多く、通電により期外収縮はいったん促進化したのち消滅することが多い。冠尖起源の期外収縮の場合、冠尖で早期電位が認められることがあり、心室筋からやや離れた起源を有する症例もある。乳頭筋は太く、起源を特定しにくく、焼灼範囲が広くなりがちで、再発も多い。サミット起源でカテーテルが届かない場合には、心内膜側から高出力で焼灼効果が認められる場合もある。プルキンエ起源期外収縮は非持続性心室頻拍や心室細動を誘

発することがあり、そのような症例では治療効果は絶大である。いずれも期外収縮が出ていればマッピングしやすい。

心室期外収縮に対するアブレーションは、有症候性の場合には患者の同意も得られやすい。また非持続性心室頻拍、心室細動症例では、そのトリガー期外収縮を治療すべきである。また、心室期外収縮頻度が10%以上の症例では心機能が低下することもあるため、無症候性であってもカテーテル治療を検討してもよいと考えられる。

心室頻拍には、基礎疾患のない特発性心室頻拍と何らかの基礎疾患を有する心室頻拍がある。基礎疾患を有する症例では、まず心筋のダメージが進行し低電位となっている領域(不整脈基質)を同定する。心室頻拍が維持されるためには緩徐伝導路が必要であり、低電位領域に存在することが多い。次いで心室頻拍を誘発し、頻拍のマッピングを行い、回路を同定する。そのときにエントレイメントを併用し、回路上であることを確認する。通電部位は緩徐伝導部位であり、通電で停止することが多い(図4)。

しかし、頻拍を誘発すると血行動態が破綻する症例 もある。その場合には不整脈基質でのペーシングなど により回路を推定し、通電する。時には低電位領域や、 遅延電位部位を広範に通電せざるを得ない場合もある。 心内膜側に緩徐伝導部位が認められない場合には心筋 内あるいは心外膜側にあると考えられ、心外膜アプ

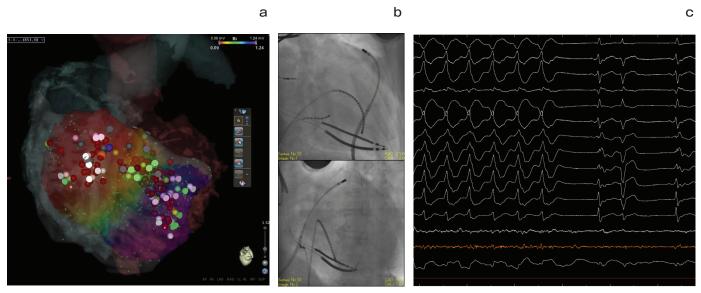
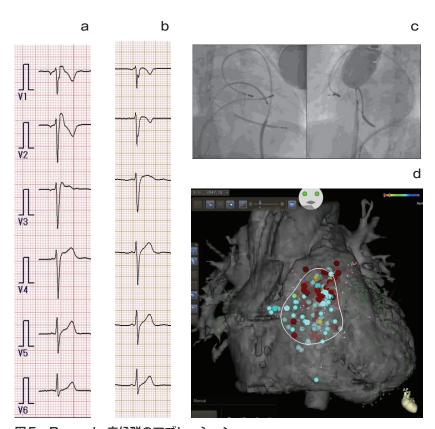


図 4 心室頻拍のアブレーション 左室心室瘤表面の興奮伝播(a),カテーテル位置(b),通電中の心室頻拍停止(c).

(筆者作成)



**図5 Brugada 症候群のアブレーション** 治療前の心電図(a),治療後の心電図(b),カテーテル位置(c),右室流出路 心外膜側の通電部位(d). (筆者作成)

ローチを併用する。不整脈原性右室心筋症,拡張型心筋症,肥大型心筋症などで心外膜アプローチが必要な場合がある。われわれの施設では、多くの心室頻拍のアブレーションを心外膜アプローチも含め積極的に行っており、良好な成績が得られている。

# WI. Brugada 症候群・ 心室細動のアブレーション

遺伝性不整脈である Brugada 症候群は,右側胸部誘導に ST 上昇を伴う典型的な心電図所見を有し,心室

細動により突然死する疾患群である。Brugada 症候群では、右室流出路心外膜側の広範な領域に異常な遅延電位を認め、同部位を心外膜側から焼灼することにより、心電図は正常化し、心室細動も抑制される(図5)。頻回の心室細動発作を認めた自験例17例の成績は、15例で心電図が正常化し13例で発作を認めていない。残りの2例では心電図は正常化せず発作を認めたが、そのうち1例では心内膜側からの通電で心電図が正常化した。Brugada 症候群に対する右室流出路心外膜アプローチアブレーションは心室細動の抑制に有用である。

最近の報告でQT延長症候群においても心外膜側に不整脈基質を認めたという報告があり、遺伝性不整脈であっても、不整脈基質が存在し心室細動発症に関与する症例があるものと思われ、今後の検討が待たれる。

#### おわりに

頻脈性不整脈治療の進歩は不整脈機序の解明により もたらされたものであるが、その背景には不整脈解析 機器の目覚ましい開発があった。現在、心房細動をは じめ、ほとんどすべての不整脈機序が解明されつつあ り、同時にアブレーション治療が行われている。まだ まだチャレンジングな不整脈もあるものの、さらなる 進歩を期待したい。

## 文 献

1)日本循環器学会:日本循環器学会/日本不整脈心電学会合同 ガイドライン,不整脈非薬物治療ガイドライン(2018 年改訂 版). 2019;162.