

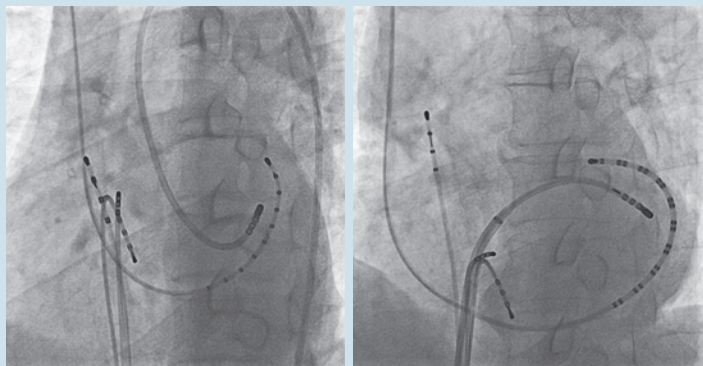
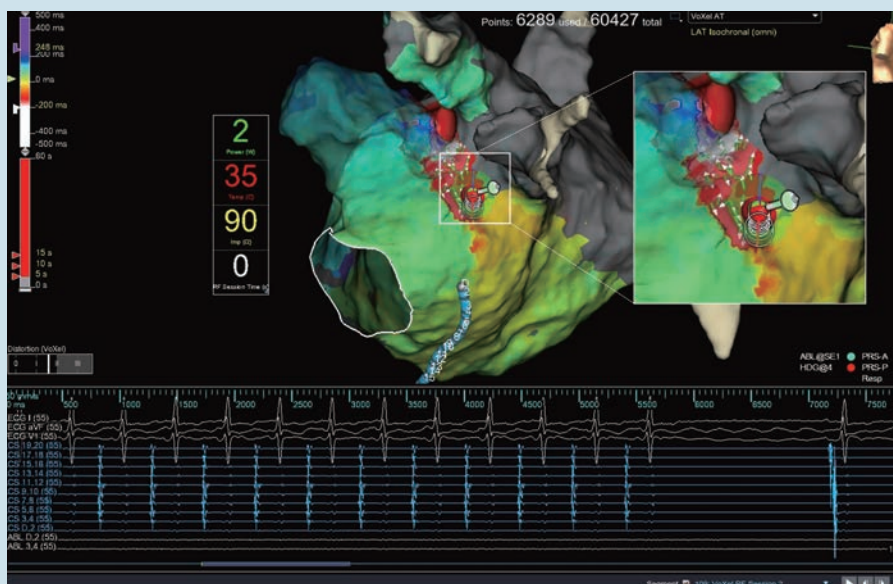
必ずできる!

実践的 カテーテル アブレーション

編著

池田隆徳

東邦大学大学院医学研究科循環器内科学教授



1 AFアブレーション

1 PVアイソレーション

不整脈と治療の概説

- ▶心房細動は日常診療でも多くみられる不整脈で、高血圧や糖尿病などの生活習慣病に関連する危険因子を有しており、加齢とともに有病率が増加する。心房細動は発作性心房細動として発症し、発作頻度や持続時間が長くなり持続性心房細動から永続性心房細動へ移行するケースが多い。心房細動の併存症として脳梗塞や心不全が知られており、薬物治療・非薬物治療による適切な介入が重要となる。
- ▶心房細動の心電図の特徴は①P波の消失、②細動波の出現、③RR間隔の不整であり、心電図による診断は容易である。発症時にはT波に重なるP波から心房細動が開始することが多く認められる。心房細動では、無秩序に興奮が旋回する機能的リエントリーが考えられている。機能的リエントリーの機序としてleading circle説やspiral wave re-entry説が提唱されているが、リエントリー回路が一定でないためにカテーテルアブレーションによる治療対象とはならなかった。
- ▶1998年にHaïssaguerreらは肺静脈から発生する期外収縮を契機として心房細動が発症することをつきとめ、この期外収縮を標的に高周波通電を行うことにより心房細動を治療できることを報告した¹⁾。心房細動のトリガーとなる心房期外収縮は肺静脈起源が90%以上であるが、1点を焼灼しても他の部位からの期外収縮により心房細動は容易に再発し、また肺静脈遠位端での焼灼によって肺静脈狭窄を生じる問題点が挙げられた。そのため、一度の手技で4本の肺静脈を入口部で隔離する方法が考案された²⁾。現在は、高周波カテーテルを用いる場合には前庭部も含めた左上下、右上下を拡大隔離する拡大肺静脈隔離術が一般的となっている。また、高周波カテーテルのみならず、発作性心房細動症例に対するバルーンテクノロジーによる肺静脈隔離術もわが国において保険適用され、現在クライオバルーン・ホットバルーン・レーザーバルーンが使用可能であり、治療実績が増加している。持続性心房細動症例など、肺静脈以外のトリガーや器質を修飾する“beyond PVI (pulmonary vein isolation)”の様々な手技が報告されてきているが一定した治療成績が得られておらず³⁾、現在でも肺静脈隔離術が心房細動アブレーション治療のコーナーストーンとして位置づけられている。
- ▶本項では、有効かつ安全な肺静脈隔離術に必要な高周波およびクライオバルーンアブレーション

ーションの知識と手技について紹介する。

心電図の提示

▶ **図1**はきわめて短い連結期で異所性P波が発生し、群発興奮の後に心房細動に移行している12誘導心電図であり、有効不応期が短縮していることを疑わせる所見である。この異所性P波の極性はI誘導で弱い陽性、下壁誘導で陽性、胸部誘導V1からV5まで一致して陽性であり、右上肺静脈起源の心房期外収縮を契機として発症した心房細動であることが推察される。心房細動のカテーテルアブレーションの実施に際しては、心電図で心房細動の記録を確認する必要がある。

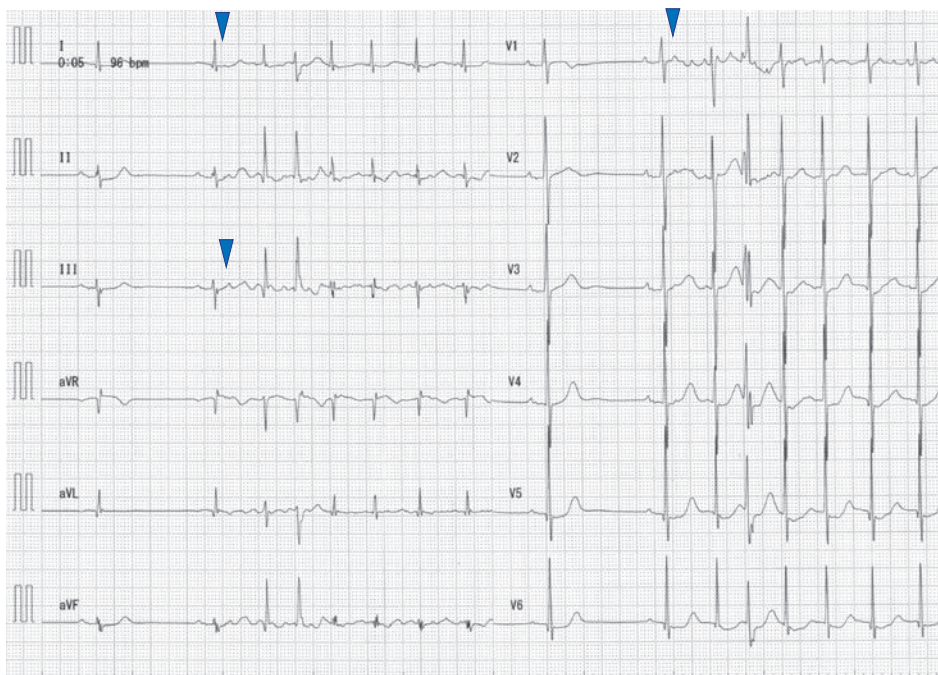


図1 心房細動の12誘導心電図
矢頭:T波の上に重なるP波(心房期外収縮)

EPSの理解

▶ 心内電位は一般的に双極電極で表示され、多極電極であれば各双極電極の興奮順序を把握することにより興奮伝搬の方向が推定可能であるが、心房細動の場合には無秩序に興奮伝搬するために、心内電位に規則性を見つけることはできない。しかし、心房筋内の双極電極を注意深く観察すると、興奮頻度が不規則であっても、各部位によって興奮間隔が大きくばらついていることに気がつく。たとえば心房細動中の各所の心内電位を

観察し、左上肺静脈の興奮周期が最も短い症例では、同部位が心房細動の維持・持続に重要な役割を果たしている可能性が高い。逆に、興奮周期が長い部位については、受動的な要素が強くなる。そのような場合には、左肺静脈を隔離することによって心房細動が停止する可能性もある。肺静脈内の有効不応期は心房筋よりも短く、肺静脈は心房細動の発症の契機となるのみならず、持続にも深く関与していることが電気生理学的にも考察できる。

マッピングの解説

解剖の把握

▶ 肺静脈の解剖には個人差が大きく、肺静脈の走行も多様である。冠動脈造影CTや胸部造影CTを三次元構築して術前に左心房・肺静脈の解剖をイメージしておくことが安全かつ有効なカテーテル操作につながる(図2A, D)。また取得したCT画像は、三次元マッピングシステムに利用可能であり、CARTO®システムではMerge, EnSite™システムではFusionを行うことで左心房と肺静脈について(図2B) 視覚的なサポートが可能となる。ただし、CTの撮影時とアブレーション当日では、呼吸条件、調律、水分バランスなどの条件が異なっているため、必ずしもCTの情報が実際の左心房の解剖と一致するとは限らない。そのため、三次元マッピングシステム上の焼灼ポイントとCTがずれてしまうことが少なからずある。特に、肺静脈遠位端での焼灼は肺静脈狭窄のリスクが高まるため注意しなくてはならない。焼灼前には、肺静脈の入口部を確認しておく必要がある。左下肺静脈であれば、カテーテルを屈曲させ手前に引いてカテーテル先端が脱落するポイントが入口部となる。心腔内超音波で左肺静脈と左心耳の間のridge部分に作

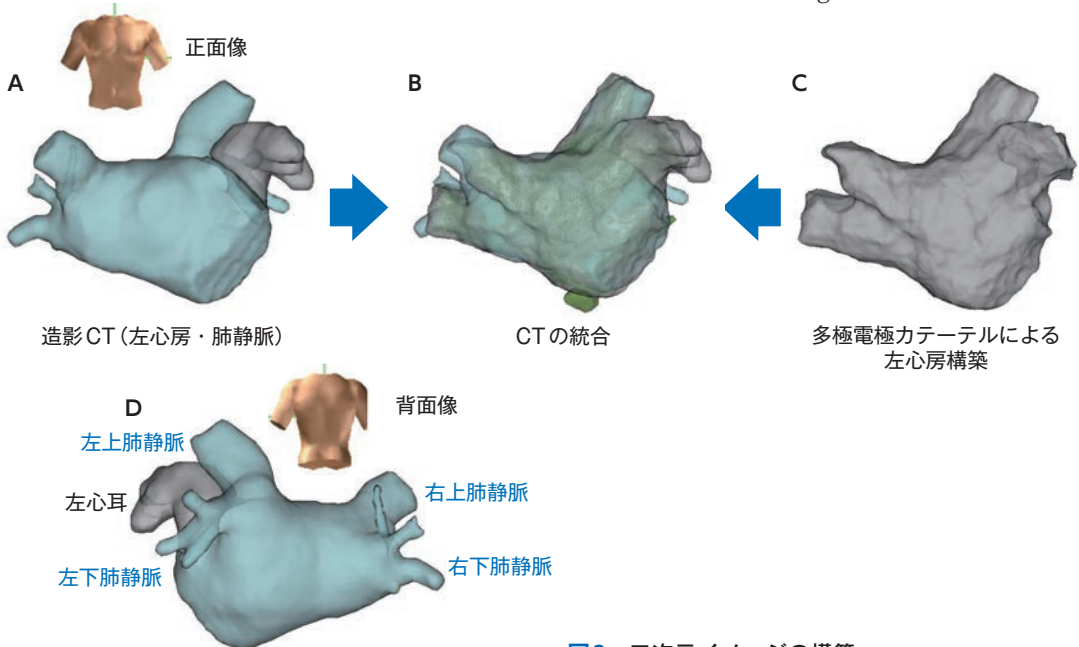


図2 三次元イメージの構築

成されたタグも入口部の参考となる(図3)。左肺静脈の前側は肺静脈内で焼灼する必要がある場合があるため、後壁側は比較的拡大した焼灼ラインをデザインすることで肺静脈狭窄のリスク軽減につながる。最新の、多極電極カテーテルであるHDグリッドカテーテルやOCTARAY™カテーテルで左心房や肺静脈の情報を高精度で取得し三次元構築することが可能であり(図2C)、腎機能障害や造影剤アレルギーなどでCTが撮影できない症例でも立体構造を把握できる。

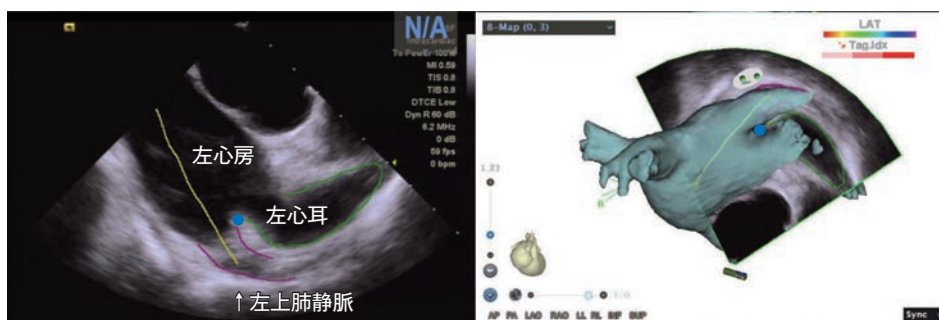


図3 三次元マッピングシステム上の焼灼ポイント

●:左心耳と左肺静脈の間(ridge)

起源の同定

肺静脈電位の分離

▶心房細動に対する肺静脈隔離術は4本の肺静脈隔離を目標とするため、不整脈原性となる肺静脈を同定する手順は通常行われない。ただし、肺静脈内に留置したカテーテルから得られる電位の鑑別は重要である。電極間が短いマッピングカテーテルを用いても、双極電極で「far-field potential(ファーフールド電位)」と呼ばれる遠隔電場電位が記録されることがある。左肺静脈前面の左心耳電位や右上肺静脈前面の上大静脈電位がそれにあたる。far-field potentialを肺静脈電位と勘違いしてしまうと無用の焼灼を繰り返してしまうことになる。洞調律中は、洞結節からの興奮伝搬が左肺静脈と左心耳にほぼ同時に到達するため、左肺静脈に留置した電極カテーテルでは両者の電位が記録されることがあり、判別が難しい場合がある。そのため、冠静脈洞に留置したカテーテルの遠位端電極から心房刺激を行い、左心耳電位と肺静脈電位を分離して左肺静脈隔離術を行うことが一般的である。冠静脈洞カテーテルが遠位まで挿入できない場合や、左心耳の位置によっては分離が難しい場合がある。その際には、左心耳に挿入したカテーテルから刺激すると分離が明瞭になる。右上肺静脈前面に記録され右心房と同じ時相で記録される電位は、上大静脈電位の可能性がある。右心房からの刺激により、上大静脈電位と右上肺静脈電位の分離が可能である。

焼灼時のポイント

コンタクトフォーステクノロジーと焼灼指標

▶ アブレーションカテーテルの心筋とのコンタクトフォースも、有効な焼灼のための重要な要素である。特に三次元マッピングシステム上では心房壁に接しているように見えても、良好なコンタクトが得られていなければ無効な通電となってしまう。以前はそのような状態でもアブレーションのタグが作成されるため、どの部位が有効通電されていないかを判別することは、再度電極カテーテルを配置してみないとできなかった。実際に、コンタクトフォースが高い場所は後壁側と左房天井で、一方で左肺静脈前壁と右肺静脈鞍部では低くなる傾向にあり、再伝導の頻度が高いことが報告されている⁴⁾。また、過度なコンタクトは心穿孔やスチームポップのリスクが高まるため、安全性についてもコンタクトフォースは重要な指標となる。そのため、通電前には局所電位に加えてコンタクトフォース値を確認し、通電中も呼吸やカテーテル操作でコンタクトフォースに変化がないか追視することが重要である。コンタクトフォーステクノロジーによって心房細動カテーテルアブレーションが普及し、治療の一般化が急速に進んだと言っても過言ではない。

▶ 心房組織への焼灼の効果は、高周波エネルギーの場合には、出力・時間・インピーダンス・温度・接地圧(コンタクトフォース)の要素により影響を受ける。各社、ablation index (AI) や lesion size index (LSI) といった独自のアルゴリズムによってアブレーションの焼灼指標を採用しているが、出力・時間・コンタクトフォースによって規定されている。図4を見ると、左上肺静脈に挿入した高周波アブレーションカテーテルが肺静脈前面に留置され、先端ベクトルが前方に向き、コンタクトフォースが12gであることがわかる。このようにコンタクトフォーステクノロジーは、カテーテル先端の位置に加

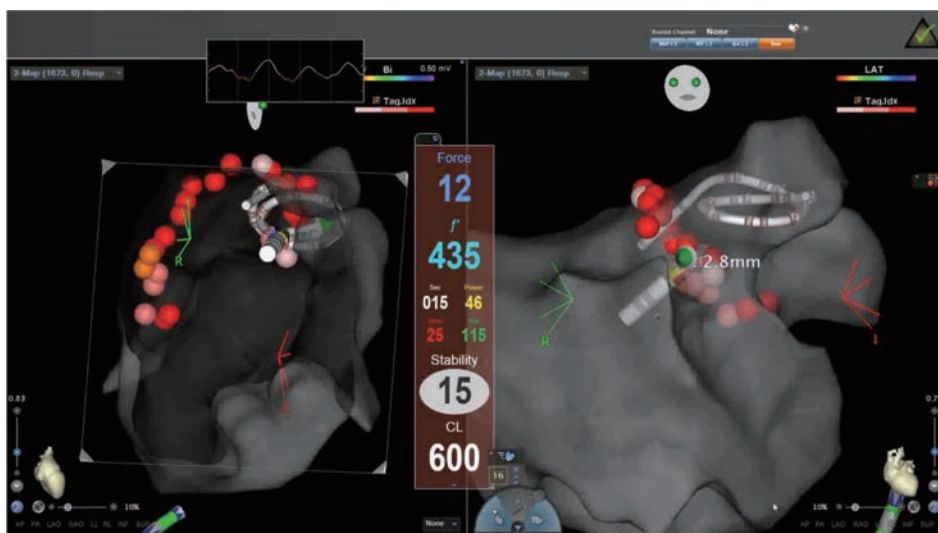


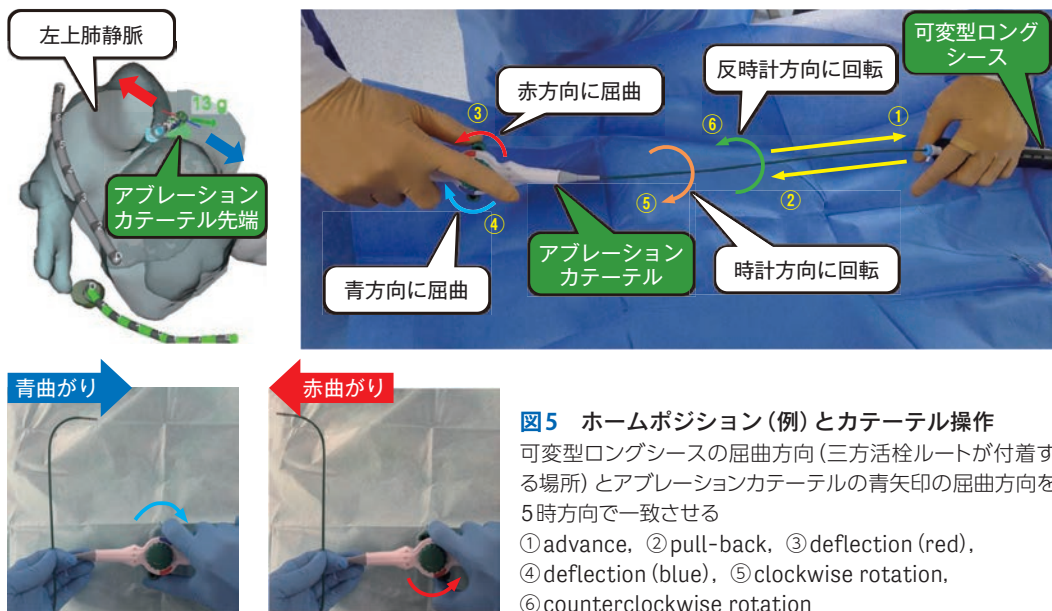
図4 左上肺静脈に挿入した高周波アブレーションカテーテルのデータ

えて、どの方向にどれくらい力が加わっているのかが可視化される特徴がある。また、直前の焼灼ポイントとカテーテル先端の距離が表示され、高周波通電中は出力と時間とコンタクトフォース値から算出されるAIの数値もリアルタイムで確認できる。

▶アブレーションタグを連続して1周させることで肺静脈隔離術が達成されるが、肺静脈への伝導に關与する心筋筋は必ずしも全周性に分布しているとは限らず、すべてのアブレーションタグを連続させて焼灼せずとも隔離可能なことがあり、電位指標でのアブレーション手法も報告されている⁵⁾。一方で、1周しても隔離されない症例もある。術者ごとのカテーテル操作の特長や患者の要素も關係するため、はじめは先行研究のAIやLSIの指標を参考にしながら、経験を重ねるにつれて焼灼具合を各術者によって調整していくこととなる。なお、カテーテルから得られる電位の情報も肺静脈隔離には重要な指標となる。近年、単極電極の電位指標でのアブレーションの有用性も報告されており⁶⁾、三次元マッピングの精度が悪い場合や、肺静脈1周後にも隔離ができない場合には、局所の電位の評価も参考となる。

ホームポジションの重要性

▶カテーテル操作を行うにあたり、自分のホームポジションを決めておくといよい。心房中隔穿刺を5時方向で行った場合、シースの曲がりとおアブレーションカテーテルの屈曲の方向を一致させた状態で5時方向に保持すると、左房後壁から左肺静脈の方向にカテーテルが位置することとなる(図5)。さらにこの位置から4本の肺静脈にアプローチする流れをつかんでおくと、左房内でのカテーテル操作をスムーズに行うことができる。呼吸状態の変化や体動等によって三次元マッピングシステムの位置情報が変わってしまうこともある。アブレーションカテーテルのホームポジションでの透視画像を記録しておくこと、三次元マッピングシステムとの關連を把握することができる。線量が高くな



るX線撮影を行わなくても、透視画像をそのまま保存することにより被曝量も最小限に抑えることができる。迷ったときには、ホームポジションに帰ってからカテーテル位置と解剖学的位置情報を再確認し、手技を継続すればよい。

デフレクションの方向を把握する

▶カテーテル操作は、advance, pull-back, deflection (bidirectional), clockwise rotation, counterclockwise rotationが基本となる(図5)。これにロングシース自体の操作も加わるため、特に可変型ロングシースを併用する場合には、心腔内で多彩なカテーテル位置をとることが可能となる。両方向性に屈曲するbidirectionalカテーテルが一般的であり、カーブの曲率にも規格があり、曲率半径の短いDカーブや曲率半径が長いFカーブが選択されることが多い。初期の段階では、肺静脈隔離術の際には、意識してロングシースの向きと、アブレーションカテーテルの屈曲の方向を把握しながらカテーテル操作を行うとよい。

可変型ロングシースの使用について

▶左心房が拡大している場合、通常のロングシースでは特に左肺静脈隔離でアブレーションカテーテル操作が難しいことがある。可変型ロングシースを左房内に挿入して、アブレーションカテーテルの先端(近位側電極まで)のみを出して可変型ロングシースを操作してアブレーションを実施する方法をとる術者もいる。三次元マッピング上にロングシース先端位置を描出することができるロングシースもあり、被曝軽減や操作の補助となる。ロングシースのバックアップによりマッピングカテーテルやアブレーションカテーテルを操作することで細かい調整が可能となる。その反面、ロングシースとアブレーションカテーテルが一体化しているため、左心房天井で焼灼をしているときに、急な体動や閉塞性無呼吸に伴う心臓の変位の際には思わぬコンタクトフォースの上昇をきたし、心損傷のリスクが高まる。全身麻酔や深鎮静で呼吸管理をしっかり行い、鎮静・鎮痛管理が安定している状態で実施することが望ましい。

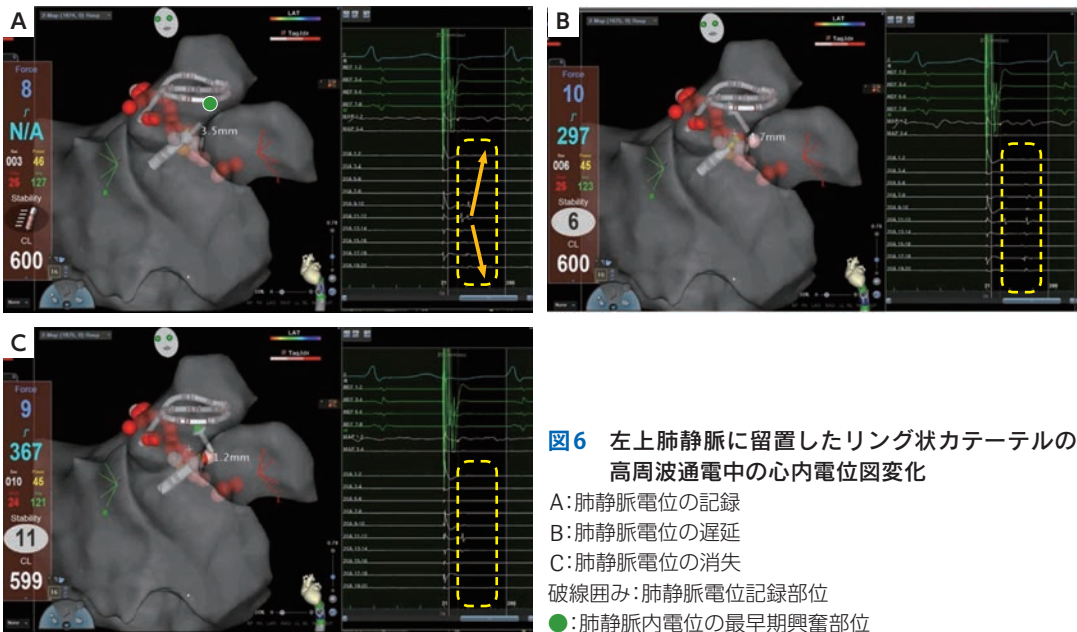
クライオバルーンアブレーション

▶高周波カテーテルアブレーションと比較すると、クライオバルーンアブレーションは肺静脈隔離術の成績は同等であるが、手技時間が短い利点がある⁷⁾。また、クライオバルーン冷却中は心房壁と固着するために心拍動や呼吸の影響を受けない利点が挙げられる。ただし、しっかりと肺静脈に圧着しバルーンからの血液の漏れがない状態で冷却をしないと、有効な冷凍凝固を得ることができず、隔離不成功や再伝導の原因となる。肺静脈の大きさや共通管などクライオバルーンの圧着が難しい解剖学的な問題がないかを術前のCTや左房造影で確認することも、治療戦略を練る上で重要となる。また、クライオバルーンアブレーションの合併症として、右横隔神経麻痺が数%であるが報告されている⁸⁾。一過性であることが多いが、横隔神経麻痺の対策として上大静脈から横隔神経刺激を行い横隔膜の動きを手で確認しつつ、複合横隔膜電位を記録し、電位振幅が減少したら冷却を停止することで予防する。

効果の判定

両方向性ブロックの確認

▶肺静脈隔離の焼灼の順番は術者によって異なり決まったものではなく、結果的に両方向性ブロックの達成がエンドポイントとなる。図6A~Cでは左上肺静脈の前側への焼灼によって肺静脈電位が遅延し消失している所見がみられる。図6Aでは肺静脈電位の最早期興奮部位は13-14電極(図中●)であり、リング状カテーテルの位置とアブレーションカテーテルの部位が近接していることがわかる。肺静脈隔離完成後(図7A)には、肺静脈内から発生する左心房に伝導しない期外収縮(blocked ectopic beat)が観察されることがある(図7B)。肺静脈に留置したカテーテルから刺激を行い、肺静脈内局所電位の捕捉のみで左心房を捕捉しないことを確認する。1周焼灼後も肺静脈電位が残存する場合には、焼灼ラインに漏れがないかを確認する。アブレーション焼灼ポイントの間隔に加えて、焼灼ラインの肺静脈側での電位の早期性を比較することにより、伝導が残存しているかの鑑別が可能となる。三次元マッピングでのactivationマップはこれを可視化するものである。上下肺静脈の間の鞍部(carina)より巣状興奮パターンを呈する場合があるが、心外膜側からの興奮がcarinaを經由して肺静脈内に伝搬していると考えられる。その際には、肺静脈内で早期性のある電位を通電することにより隔離が成功することが多くみられる。



アデノシン三リン酸(ATP)投与のdormant伝導について

▶肺静脈隔離術後に、両方向性ブロックが確認できていてもアデノシン三リン酸(adenosine triphosphate; ATP)の急速静脈投与によって再伝導が観察されることがあり「dor-

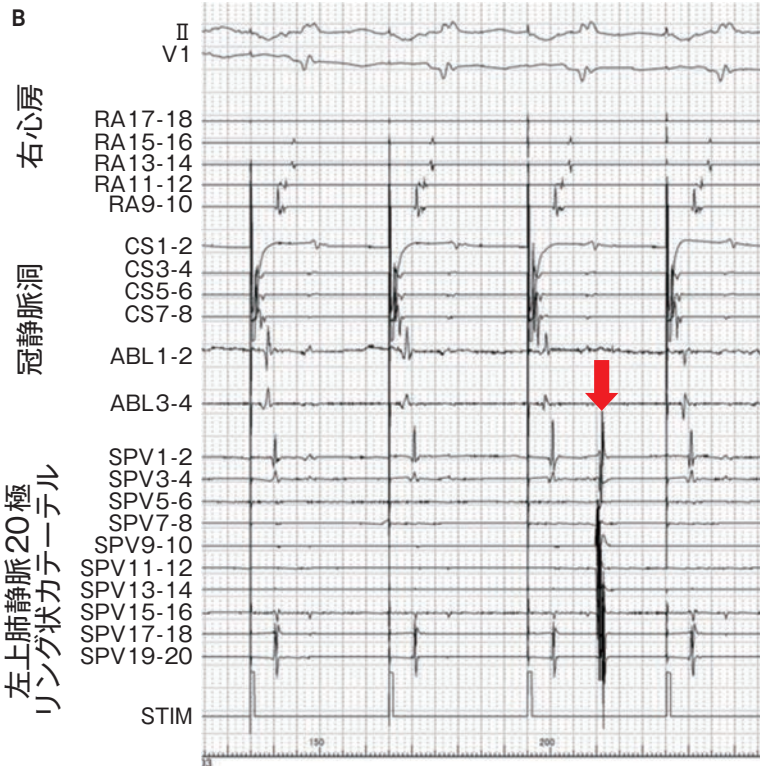
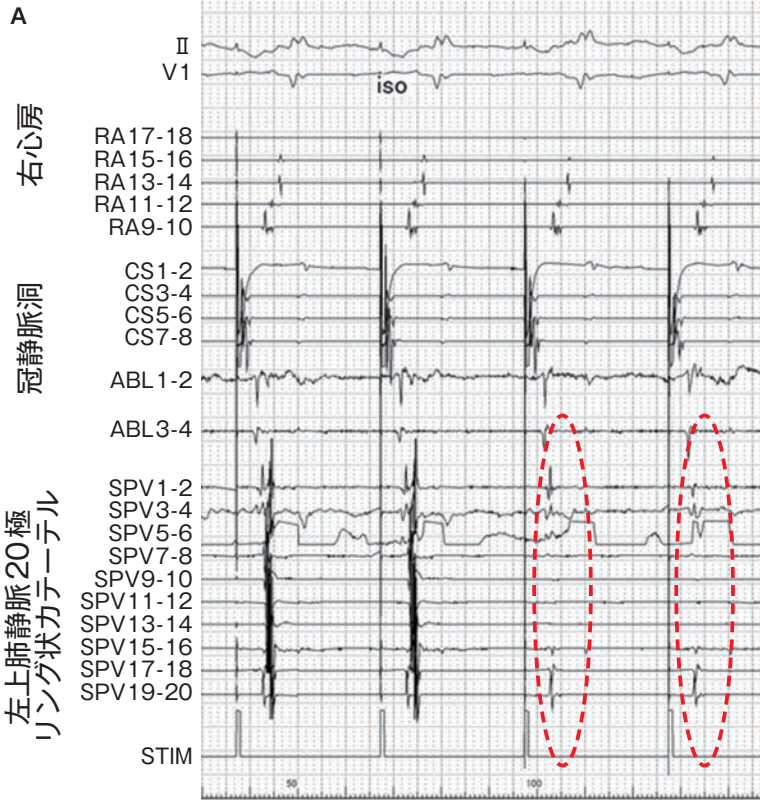


図7 高周波通電による肺静脈電位の消失と左心房への伝導ブロックを伴う肺静脈内異所性興奮

A: 高周波通電による肺静脈電位の消失

B: 左心房への伝導ブロックを伴う肺静脈内異所性興奮

破線赤丸: 隔離によって肺静脈電位が消失

赤矢印: 肺静脈内に観察される左房へ伝導しない異所性興奮

mant 伝導」と呼ばれている。ATP 投与によって障害を受けている心筋細胞の膜電位が深くなり、ナトリウムチャンネルが利用可能となり、再伝導すると考えられている⁹⁾。

- ▶ ATPガイドでの追加焼灼の有効性が報告され¹⁰⁾、以前はルーチンでATPを使用している施設が多かった。しかし、コンタクトフォーステクノロジーをはじめとするカテーテルアブレーション関連機器の進歩と治療技術の向上によってdormant 伝導の発生頻度が減少し、またdormant 伝導が一過性の現象であるとの報告もあり、現在では、ATP投与による再伝導の追加焼灼の心房細動再発予防に対する効果については一定の結果が得られていない¹¹⁾。また、喘息の既往を有する症例では使用禁忌である点にも注意が必要である。

合併症/ピットフォール

心房中隔穿刺について

- ▶ 肺静脈にマッピングおよびアブレーションカテーテルを誘導するために、卵円窩開存症例以外では、心房中隔穿刺は肺静脈隔離術に必須の手技となる。以前は、硬針の中隔穿刺針を用いており、穿刺に難渋し穿刺部位が限定されることが少なからずあった。現在では高周波を用いた中隔穿刺針が主流となっている。図8では、心房中隔穿刺針が心房中隔に接し(図8A)、高周波通電を行って左心房に到達し(図8B)、ロングシースを留置している状況(図8C)が視覚的に確認できる。心房中隔穿刺の部位によってカテーテルの肺静脈へのアプローチの方向が異なってくるため、意識して穿刺部位を選択する。心腔内超音波ガイドでの中隔穿刺は高さや前後の微調整が可能となり有用で、中隔穿刺後も確実に左房内腔にあることが視覚的に確認できる利点がある。

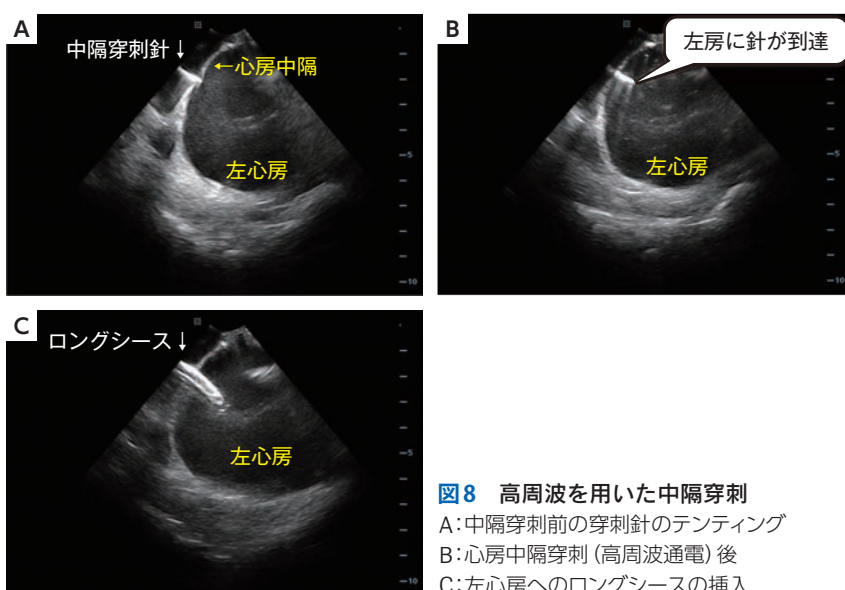


図8 高周波を用いた中隔穿刺
A: 中隔穿刺前の穿刺針のテンティング
B: 心房中隔穿刺(高周波通電)後
C: 左心房へのロングシースの挿入