

● 特別講演

カテーテルアブレーション最近の進歩

ー心房細動アブレーションの現状ー

土浦協同病院循環器センター内科 家坂義人

はじめに

カテーテルアブレーションの発展と普及はめざましいものがあり、種々の上室性および心室性頻拍症の根治が可能となったが、心房細動(AF)に対する根治治療はmaze手術の有効性は認められているものの¹⁾、有効なアブレーション法はいまだ確立されていない。AFは60歳以上では最も頻度の高い不整脈であり、心房-心室同期収縮の障害あるいは過度の徐脈や頻脈による心不全、さらには血栓塞栓症の危険を有する。このような観点からも、洞調律化を目的としたカテーテルアブレーション法の開発が待たれている。

1 AFに対するアブレーション法

現在、AFに対しては二種類のアブレーション法が行われている。一つは両心房を切開・細分化し、複数のrandomな興奮旋回を不可能にする、maze(迷路)手術に倣った、カテーテルmaze法とも呼ばれる線状(linear)アブレーション法である。

他方、AF発作が連発する心房期外収縮(APB)により惹起されることに着目し、AFのトリガーを除去する目的で、APBを標的とした巣状(focal)アブレーション法が行われている。

1) 線状アブレーション法(linear ablation)

Swartzらは²⁾器質的疾患を伴う持続性AFに対して、右房に2~3本、左房に3~5本の線状アブレーションを行い(図1)、約80%の洞調律化率を得たが、55%の例で複数セッション

を要し、平均術時間は約12時間と長く、左房アブレーションに起因する脳血栓塞栓症や心臓液貯留などの重篤な合併症を約2%に認めた。

Jaïsらは³⁾持続性4例を含む発作性AF44例に対して、左右上肺静脈入口部間および左右上肺静脈入口部から各下肺静脈入口部を通過し、左房後壁を僧帽弁輪まで線状アブレーションし、右房の中隔・三尖弁輪峡部に2本の線状アブレーションを行った(図2)。25例(57%)において根治に成功し、12例(27%)において薬物併用によるAFのコントロールが可能となった。しかしながら、31例(70%)において左房アブレーション線上の伝導ブロックの間隙を原因とするマクロロエンター性心房頻拍(非通常型心房粗動)が高率に発生し、本心房

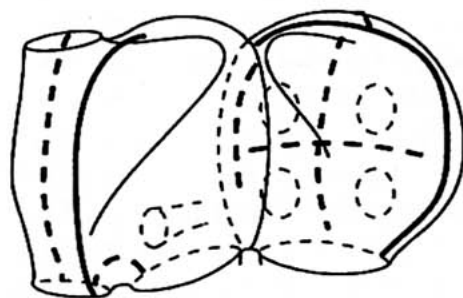


図1 Swartzらによる線状アブレーション法 Swartzらによって行われたカテーテルmaze法時の焼灼ライン。右房には上下大静脈間・三尖弁輪-下大静脈間峡部・前壁に3本、左房には各肺静脈入口部間の後壁・前壁および側壁-僧帽弁輪間に4本、さらに心房中隔に1本の線状焼灼を行った。(文献2より引用)

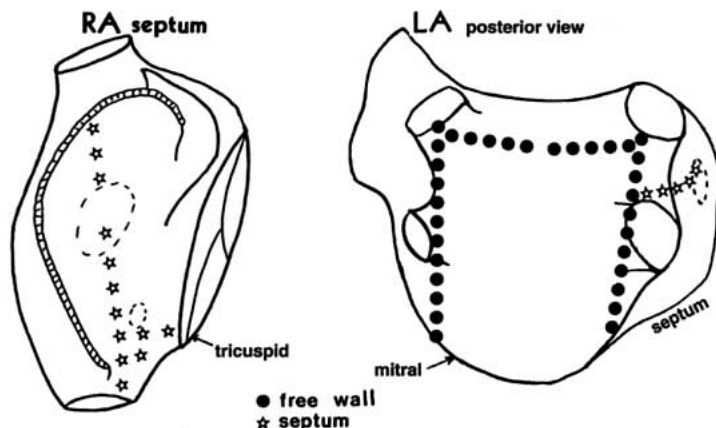


図2 Jaisらによる線状アブレーション法

右房には上大静脈から卵門孔を經由し下大静脈に至る右房中隔，三尖弁輪-下大静脈間峡部に2本，左房には左右上肺静脈間・左右上肺静脈から左右下肺静脈を經由し僧帽弁輪に至る左房後壁に3本の線状焼灼を行った。(文献3より引用)

頻拍の治療を含め症例あたり2.7セッション、総計約10時間に及ぶ術時間、約3時間の透視時間を要した。心嚢水貯留5例、冠動脈空気塞栓1例、脳塞栓1例、肺静脈塞栓1例と合併症も多く、本手技の有効性は比較的高いものの、実用性と安全性に重大な問題を認めた。

最近、electro-anatomical マッピング法(CARTOシステム)を用いた両心房線状アブレーション法の成績がPapponeら⁴⁾、Ernstら⁵⁾によって報告されている。いずれも左房において肺静脈入口部後壁を孤立化し僧帽弁輪にいたる線状アブレーションを行い、右房においては上大静脈-下大静脈間、三尖弁輪峡部、中隔ないし前壁に3本の線状アブレーションを行った(図3)。Papponeらの報告では⁴⁾、平均約5時間の術時間を要し、薬物併用例も含み成功率は60%に過ぎない。Ernstらの報告では⁵⁾平均約8時間の術時間を要しながらも、左房内の完全ブロックラインの形成が困難で、心房間解離によるペースメーカー植込みの合併症も認めている。

これらの報告は、CARTOシステムを用いても線状アブレーション法が困難な手技であることを示すものであり、現時点では、新しいアブ

レーションシステムの開発・導入が行われない限り、臨床応用は難しいといわざるをえない。

2) 巣状アブレーション法 (focal ablation)

AFの持続および維持の基盤を除去する線状アブレーション法が困難なことから、AFのトリガーとなる心房期外収縮(APB)に注目し、トリガー除去を目的とするアブレーション法が行われるようになった。

Haïssaguerreらによれば⁶⁾、P on Tと表現される連結期の極めて短い連発するAPB(平均連結期: 175msec)がAFのトリガーとなり、45例の発作性AFにおけるトリガーAPBの全起源65カ所(36%の症例では複数起源)の94%は肺静脈内(入口部から遠位側2~4cm)に同定された。起源部位においてはAPBに平均106msec先行する肺静脈起源スパイク電位が記録され、右房70℃左房55~60℃の温度設定で60~120秒間通電し、45例中38例(84%)において急性期APBアブレーションに成功した。平均8ヵ月間の経過観察では62%の有効率にとどまったが、線状アブレーションを行わずAPBを標的とした巣状アブレーションのみにより、発作性AFの根治が可能であることを示した。

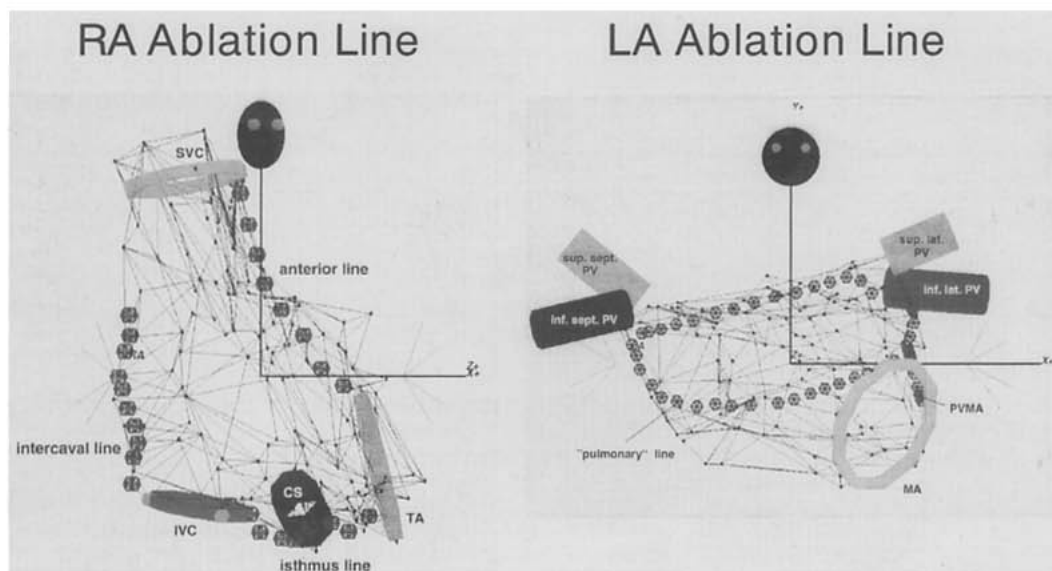


図3 CARTOを用いた線状アブレーション法

CARTOシステムを用いた右房(RA)および左房(LA)の形態マップを構築し、灰色のドットによりアブレーションラインをマップ上に示した。三尖弁輪(TA)・上大静脈(SVC)、下大静脈(IVC)・冠静脈洞(CS)・右上肺静脈(sup. sept. PV)・右下肺静脈(inf. sept. PV)・左上肺静脈(sup. lat. PV)・左下肺静脈(inf. lat. PV)・僧帽弁輪(MA)をマップ上にタグで示した。右房には前壁(anterior)・SVC-IVC間(intercaval)・IVC-TA峡部(isthmus)に3本、左房に全PV入口部を含む後壁を孤立化し、さらにMAに至るラインを1本引いた。(文献5より引用)

Chenらも⁷⁾同様に79例の発作性AFの116個所のAPB起源(44%で複数起源)の89%は肺静脈入口部(39%)あるいは肺静脈遠位側2~4cm(61%)に同定され、起源部位においてAPBに平均84msec先行する肺静脈起源スパイク電位が認められることを報告した。60°Cの温度設定で20~40秒間通電し、急性期116個所中110個所(95%)のAPB起源のアブレーションに成功し、平均6カ月の経過観察では86%(79例中68例)の高い有効率を認めた。ただし、3日後の経食道心エコー図法により、肺静脈焼灼部位の42%において狭窄による血流速度の増大を認め、1例では臨床症状を伴い肺静脈狭窄発生の危険性を指摘した。

2 肺静脈の解剖

肺静脈内のアブレーションを行うにあたって、肺静脈の構造を熟知することが不可欠であるが、肺静脈の解剖に関する報告は驚くほど少

ない。

左房筋が輪状・縦走・斜走さらに渦巻き状走行する複数の筋層となり、肺静脈近位部に進入し心筋スリーブを形成していることが、Nathanらによって報告されている⁸⁾(図4)。彼らの報告によると、そのようなスリーブの平均長は、左上肺静脈18mm、右上肺静脈13mm、左下肺静脈10mm、右下肺静脈8mmと上肺静脈で長い。最近のHoらの報告⁹⁾においても上肺静脈で心筋スリーブの発達が良好であることに相違はない。しかしながら、心筋スリーブの平均長は左上肺静脈11mm、右上肺静脈0.9mm、左下肺静脈0.6mm、右下肺静脈0.5mmとNathanらの報告⁸⁾と異なり明らかに短い。さらにHoらの報告⁹⁾では、肺静脈壁を構成する心筋の比率は、入口部から1cm末梢では上肺静脈においては60~70%と心筋スリーブの存在を認めるが、下肺静脈においては10~20%に過ぎず、ほとんど心筋スリーブが消失している。これら

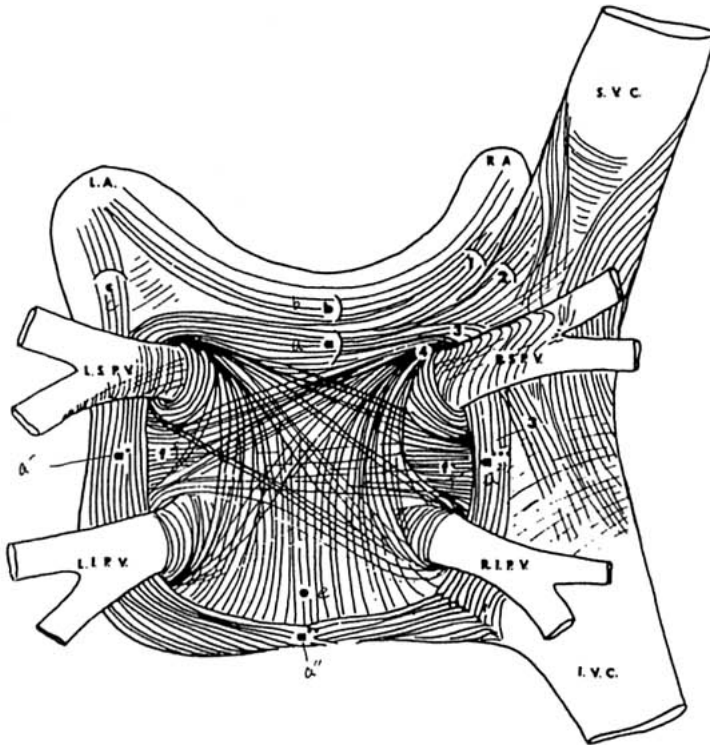


図4 左房後壁肺静脈移行部の心筋構築

左房後壁から輪状・縦走・斜走・渦巻き状に走行する筋層が重なって、各肺静脈近位部を包み、心筋スリーブを形成している。LSPV：左上肺静脈、LIPV：左下肺静脈、RSPV：右上肺静脈、RIPV：右下肺静脈（文献8より引用）

のデータは特に下肺静脈の遠位側での高周波通電の危険性を示唆するものである。ところで、Hoらのデータ⁹⁾によると、左房壁は一部を除き平均3.3mm～4.5mmと比較的厚い。これは線状アブレーションを行う場合、貫壁性線状焼灼が容易でないことを示すものである。

3 APB/PAFアブレーションの実際

PAFのトリガーとなるP on T型APBの起源の大部分が肺静脈起源であることから、経中隔左房穿刺法による左房への複数のカテーテルの挿入が必要となる。APB頻度が少ない場合は誘発が困難であることや、多源性APB例が多いことから、複数の肺静脈を含む左右両心房の多点同時マッピングが必要となる（図5）。

高周波通電に際しては、左房内血栓形成、肺静脈癒着狭窄、気管支・肺・神経などの肺静脈周辺組織の障害を回避するため、15～20mm末梢の肺静脈内での高出力・長時間・反復通電を

避ける。通電時には25～30Wの上限出力を設定し、入口部より15mm以上末梢側であったり抵抗値が高い場合、造影検査により肺静脈の内径や形態をあらかじめ確認することも重要である。

“P on T”といわれるT波に重畳する、連結期の短いAPBに引き続きAFの発生が反復性に認められた1例を提示する。冠静脈洞・ヒス束・右房自由壁、左右上肺静脈に多極電極カテーテルを留置し、APBおよびAF発生時のマッピングを行った（図6）。右上肺静脈（RSPV）起源のスパイク電位（*）に続き局所のdisorganized electrical activityが発生しAFが開始した（図6）。単発のAPB時には右上肺静脈内（入口部より15mm内側）においてP波に80msec先行する大きなスパイク電位（S）が記録された（図7）。同部における通電によりAPBの完全消失をみたが、再発を認めたため再セッションを施行した。再セッション時、

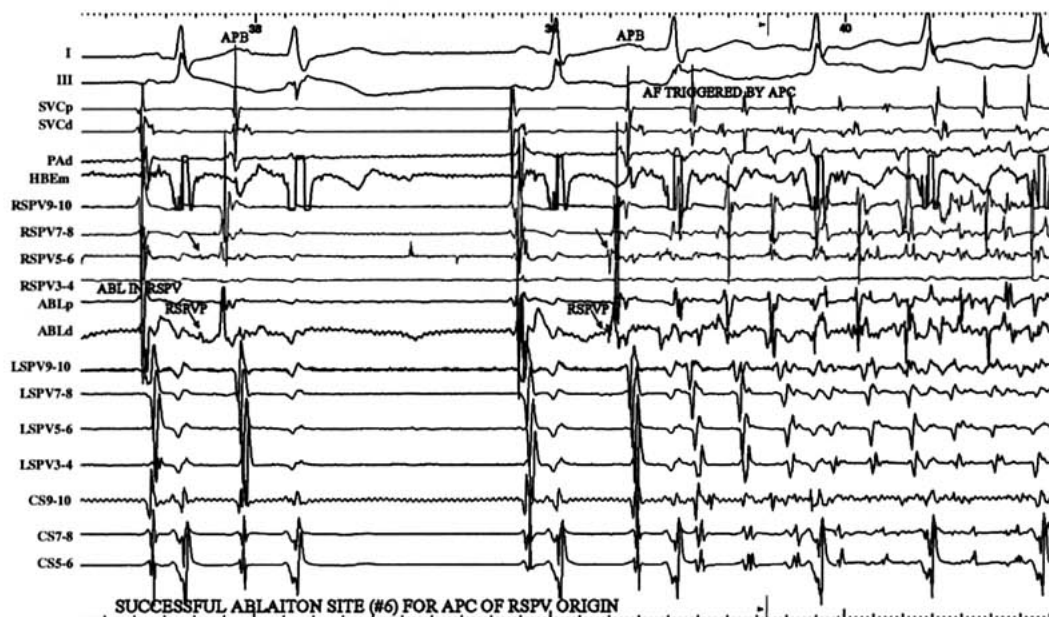


図5 PAF発生時の多点同時マッピング例

SVC・PA・CS・RSPV・LIPVにカテーテルを留置し、APB時およびAPBに続くAF発生時のマッピングを行った。RSPVの近位部において最早期のスパイク電位が記録されている。

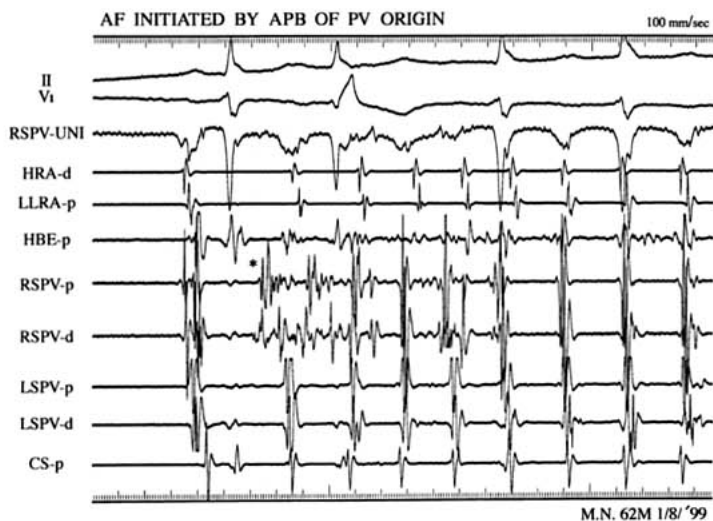


図6 肺静脈起源APBをトリガーとするPAFの発生

右上肺静脈 (RSPV) 起源の連結期の短い R on T 型 APB に続き、AF が発生した。APB 時 RSPV 遠位部で記録されたスパイク電位 (*) が先行し、同部位が APB の起源部位であることが示された。II, V1: 心電図 II, V1 誘導, HRA: 高位右房, LLRA: 低位側壁, HBE: ヒス束, RSPV: 右上肺静脈, LSPV: 左上肺静脈, CS: 冠静脈洞, UNI: 単極誘導, P: 近位, d: 遠位。

RSPVの同一部位においてスパイク電位のP波に対する先行度は130msecと増大しており(図8), 肺静脈起源スパイク電位の局所心房(A)への伝導ブロックも認められた(図9)。

本所見は、PV起源APBに対するアブレーションの効果発現機序は、異常自動能自体に対する抑制効果と心房への伝導性に対する抑制効果の複合であることを示すものである。本例におい

ABL SITE (I)

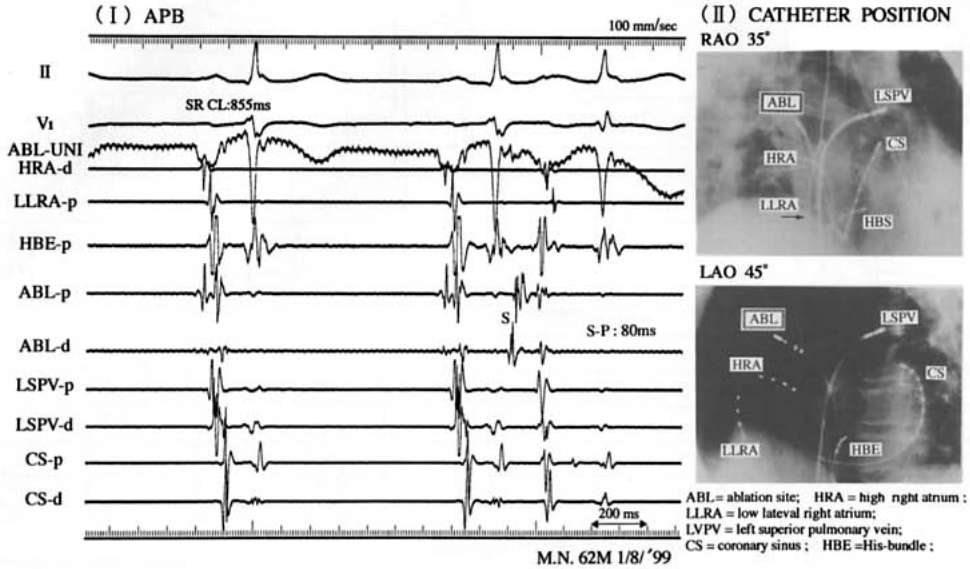


図7 APB初回アブレーション成功部位電位およびカテーテル位置
 右上肺静脈遠位部(入口部から15mm内側)に留置されたアブレーションカテーテル(ABL-d)によりP波に80msec先行するスパイク電位(S)が記録された。

ABL SITE (II)

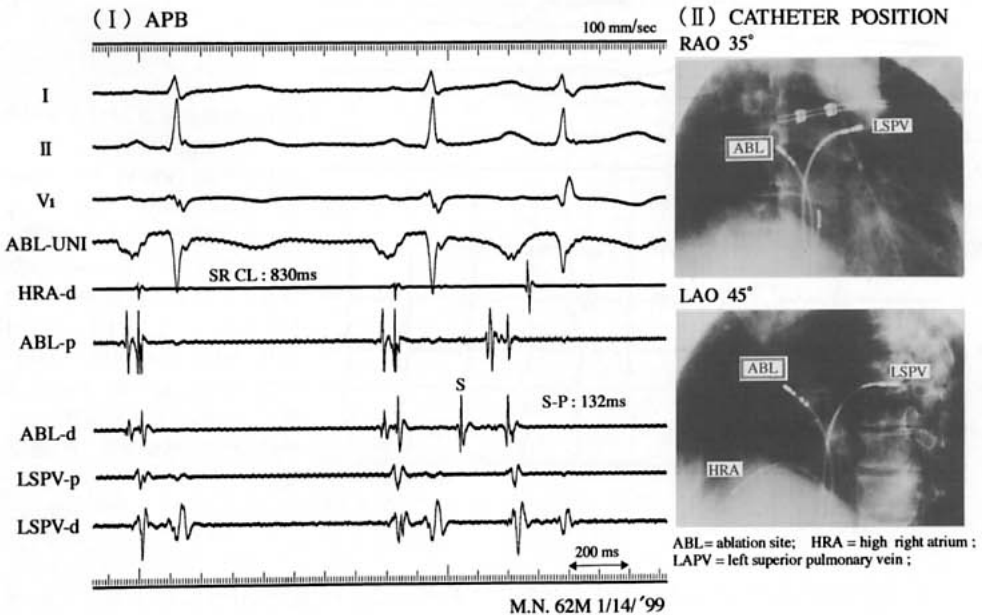


図8 APB再アブレーション成功部位電位およびカテーテル位置
 初回と同様の右上肺静脈遠位部に留置されたアブレーションカテーテル(ABL-d)により、P波に130msec先行するスパイク電位(S)が記録された。

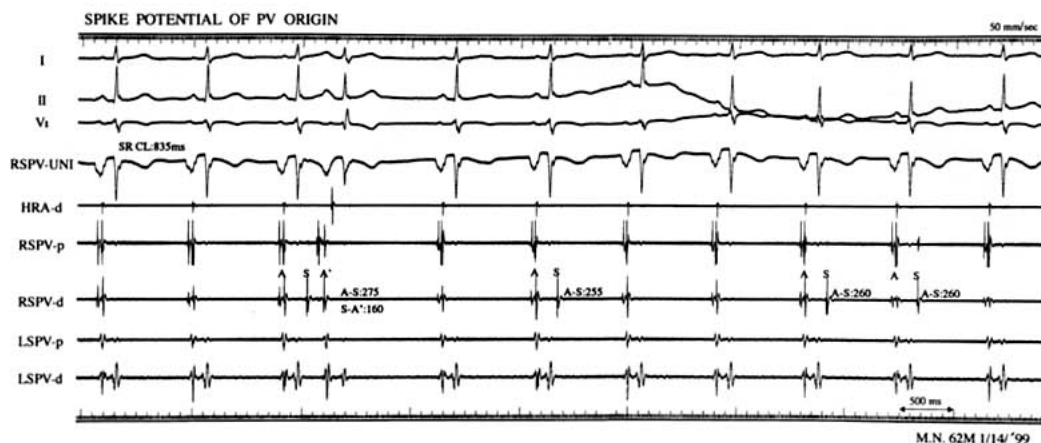


図9 APB再発時のスパイク(S)-心房(A)伝導ブロック

肺静脈起源異常興奮(スパイク)は高頻度に出現しているが、スパイクの連結期(S-A間隔)が260msec以下に短縮している場合、肺静脈起源異常興奮は心房へ伝導されず(S-Aブロック)、APBは稀に出現しているのみである。

では、スパイク電位が最大に記録される部位において通電を行い、頻出するスパイクが消失し完全なAPBアブレーションに成功した。

4 AFアブレーションの問題点と今後の展望

両心房に線状アブレーションを行うカテーテルmaze法は、CARTOシステムの導入によっても、依然として、その有効性は不十分であり、安全性・実用性に多大の問題点を有している。これらの問題の解決には、システム面においては、現有のアブレーションシステムには限界性があり、線状焼灼に適した形態や機能性を有するカテーテルの開発およびクーリングシステムの導入などが必要である。また、有効性・安全性・簡便性を加味した至適焼灼線のデザインの検討が不可欠である。

APBを標的とした巣状アブレーション法についても、その有効性と安全性は十分とはいえない。このような意味において、基礎的な面からは、APBの発生基盤である肺静脈基部・分岐部の心筋スリーブの解剖学的・機能的・電気生理学的特性が十分に解明されなければならない。技術的な面からは、必ずしも高頻度には出現せずなおかつ多源性であることも多い、APB

の起源を精確に同定するためのマッピング法の確立や至適通電部位の電位条件の検討が必要である。さらに、局所焼灼法にかわり環状焼灼法が必要であるかの検討も必要である。

以上、心房細動に対するカテーテルアブレーション法は、その有効性および安全性はいまだ十分に明らかにされたとは言い難い。APBおよびAF発生のメカニズムおよびそれら解剖学的基盤をさらに明らかにして、有効性と安全性を加味したアブレーション法の確立が重要である。したがって、現時点においては、長期経過観察データの集積とその詳細な検討が必要であり、その実施にあたっては安全性を重視した慎重な態度が望まれる。

文 献

- 1) Cox JL, Bionneau JP, Schuessler RB, et al. Five-year experience with the maze procedure for atrial fibrillation. *Ann Thorac Surg* 1993 ; 56 : 814-23.
- 2) Swartz JF, Pellersels G, Silvers J, et al. A catheter-based curative approach to atrial fibrillation in humans. *Circulation* 1994 ; 90 (suppl I) : I-335 (abstract).
- 3) Jaïs P, Shah DC, Haïssaguerre M, et al. Efficacy and safety of septal and left-atrial linear ablation for atrial

- fibrillation. *Am J Cardiol* 1999 ; 84 : 139R-46R.
- 4) Pappone C, Oreto G, Lamberti F, et al. Catheter ablation of paroxysmal atrial fibrillation using a 3D mapping system. *Circulation* 1999 ; 100 : 1203-8.
 - 5) Ernst S, Schluter M, Ouyang F, et al. Modification of the substrate for maintenance of idiopathic human atrial fibrillation : efficacy of radiofrequency ablation using nonfluoroscopic catheter guidance. *Circulation* 1999 ; 100 : 2085-92.
 - 6) Haïssaguerre M, Jaïs 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.
 - 7) Chen SA, Hsieh MH, Tai CT, et al. Initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating from the pulmonary veins : electrophysiological characteristics, pharmacological responses, and effects of radiofrequency ablation. *Circulation* 1999 ; 100 : 1879-86.
 - 8) Nathan H, Eliakim M. The junction between the left atrium and the pulmonary veins an anatomic study of human hearts. *Circulation* 1966 ; 34 : 412-20.
 - 9) Ho SY, Sanchez-Quintana D, Cabrera JA, et al. Anatomy of the left atrium : implications for radiofrequency ablation of atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 1999 ; 10 : 1525-33.