

多電極カテーテルを用いた単発刺激による心房頻拍回路の診断方法

若松雄治* 永嶋孝一 奥村恭男

エントレイメントペーシングはリエントリー性心房頻拍の回路診断に有用であるが、ペーシングによる頻拍の変化が懸念される。頻拍中に多極マッピングカテーテルの下流電極から単発期外刺激を入れ、上流電極で頻拍のリセットを確認する方法は、頻拍の停止の頻度が少ない可能性がある。本研究では、48の心房頻拍を対象として、エントレイメントペーシングと単発刺激法の診断能をそれぞれ評価した。両診断ペーシング法の陽性適中率は100%であり、陰性適中率はエントレイメントペーシングと単発刺激法で同等であった(96%対100%, $P = 0.25$)。診断ペーシングによる頻拍の変化または停止の頻度は、エントレイメントペーシングよりも単発刺激法の方が低かった(1% vs 10%, $P = 0.003$)。多極マッピングカテーテルを用いた単発刺激は、頻拍の変化や停止を回避しつつ、頻拍回路の診断を可能にするかもしれない。

(心電図, 2024 ; 44 : 159-166)

I. はじめに

心房頻拍(atrial tachycardia : AT)の回路は、一般的にエントレイメントマッピングとアクチベーションマッピングを組み合わせて診断される^{1), 2)}。

Keywords

- 心房頻拍
- エントレイメントペーシング
- マクロリエントリー
- リセット
- 単発期外刺激

日本大学医学部内科学系循環器内科学
(〒173-8610 東京都板橋区大谷口上町30-1)
*は責任者を示す

A Diagnostic Maneuver with a Scanned Extrastimulus Using a Multielectrode Catheter to Identify Macroreentrant Atrial Tachycardia Circuits
Yuji Wakamatsu, Koichi Nagashima, Yasuo Okumura

ダブルループリエントリーやマイクロリエントリーなど複雑な頻拍回路の症例は、三次元マッピングシステムのみでは回路の同定が困難な場合があり、このような症例ではエントレイメントペーシングを用いて頻拍回路を同定するが、エントレイメントペーシングは3~10%で生じるといわれる頻拍の変化や停止が懸念される³⁾⁻⁵⁾。そこで我々は、このエントレイメントペーシングの課題を克服する診断ペーシング法を考案した。この診断ペーシング法は、想定された頻拍回路上に多電極カテーテルを留置し、最も遅く興奮する下流(ダウンストリーム)電極から最も早く興奮する上流(アップストリーム)電極の不応期に単発刺激を入れ、アップストリーム電

2023年12月29日 原稿受領 / 2024年2月22日 掲載承認

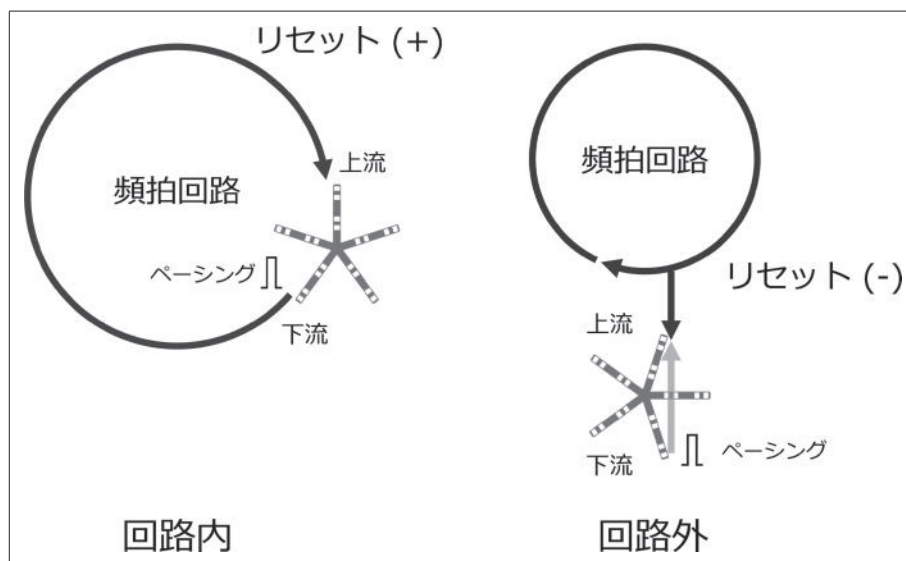


図1 回路内と回路外でこの単発刺激法を行った際のイメージ

回路上では、ダウストリーム電極からアップストリーム電極が興奮する時相で単発刺激を入れると頻拍がリセットされ、次のアップストリーム電極の時相に変化が見られる。一方で、回路外では、ダウストリーム電極からの単発刺激は頻拍の興奮と回路外で衝突し頻拍回路に入れないため頻拍はリセットせず、次のアップストリーム電極の時相は変動しない。

極の電位の時相の変動(頻拍のリセット)を確認する方法である。本研究では、この単発刺激法の診断能と頻拍停止の頻度を、エントレインメントペーシングと比較し検討した。

II. 多電極カテーテルを用いた単発刺激によるAT回路の診断方法

回路内と回路外でこの単発刺激法を行った際のイメージを図1に示す。AT中に多電極カテーテルを心房内に留置すると、多電極カテーテルの中に最も早期に興奮するアップストリーム電極と最も遅く興奮するダウストリーム電極が生じる。回路上では、ダウストリーム電極からアップストリーム電極の不応期に単発刺激を入れると頻拍がリセットされ、次のアップストリーム電極の時相に変化が見られる。一方で、回路外では、ダウストリーム電極からの単発刺激は頻拍の興奮と回路外で衝突し、頻拍回路に入れないため頻拍はリセットせず、次のアップストリーム電極の時相は変動しない。この機

序を利用し、我々は多電極カテーテルからの単発刺激でAT回路の診断ができると仮定した。

III. 単発刺激法施行時の心内心電図

通常型心房粗動(頻拍周期[tachycardia cycle length : TCL] : 230 ms)を例に、この単発刺激法を回路上および回路外で行った際の心内心電図を図2、3に示す。図2Aのように回路上の三尖弁下大静脈峡部(cavo tricuspid isthmus : CTI)に多電極カテーテルを留置すると、5-6番電極がアップストリーム電極、9-10番電極がダウストリーム電極となり、アップストリーム電極とダウストリーム電極には48 msの時相差が生じる。このカテーテルの位置で、アップストリーム電極の不応期にダウストリーム電極の9-10電極から単発刺激を行うと、アップストリーム電極である5-6番電極で頻拍のリセットが認められる(図2B)。一方で、図3Aのように回路外である僧帽弁輪峡部(mitral isthmus : MI)に多電極カテーテルを留置すると、13-14番電

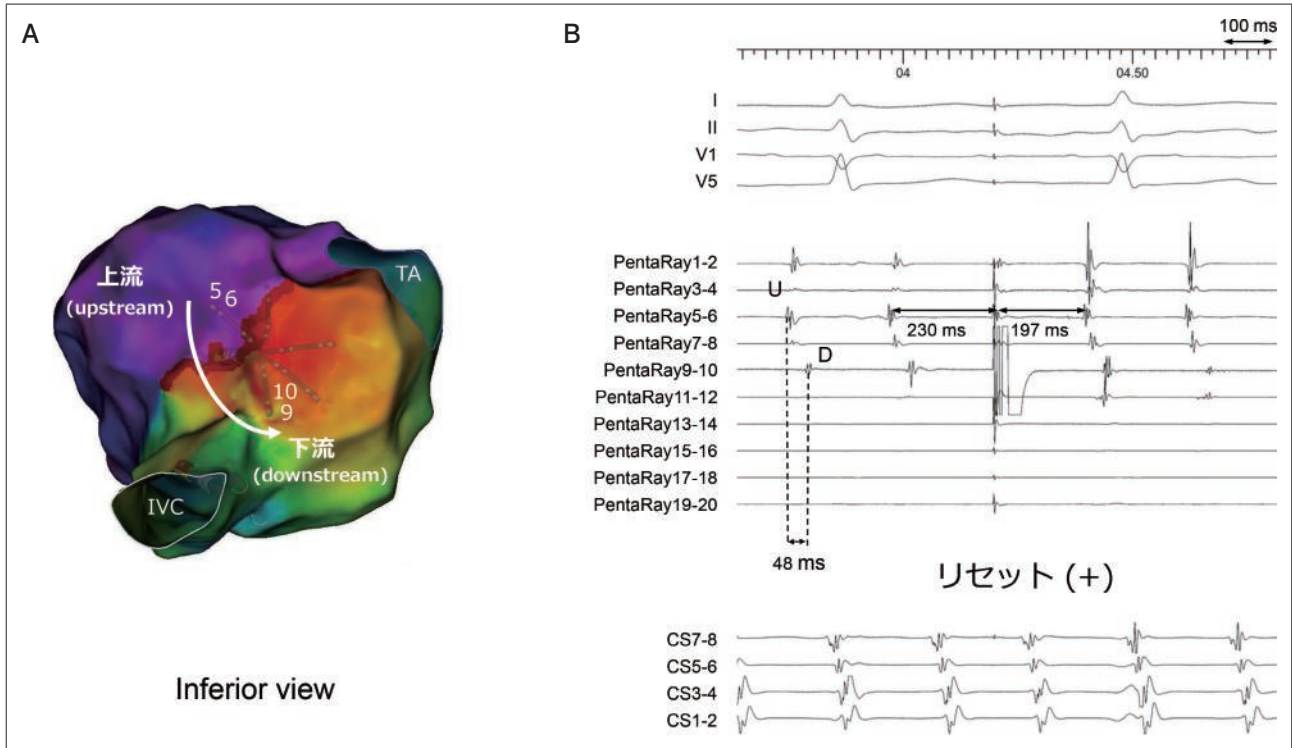


図2 通常型心房粗動に対して下大静脈三尖弁峡部で単発刺激法を行った例

下大静脈三尖弁峡部(CTI)に多電極マッピングカテーテルを留置した際の三次元マッピングシステム画像(A). CTIにマッピングカテーテルを留置した際の心内心電図(B). アップストリーム電極とダウンストリーム電極には48 msの時相差が生じ、アップストリーム電極の不応期にダウンストリーム電極の9-10電極から単発刺激を行うと、アップストリーム電極では頻拍のリセットが認められる。

極がアップストリーム電極、1-2番電極がダウンストリーム電極となり、アップストリーム電極とダウンストリーム電極には33 msの時相差が生じる。ダウンストリーム電極の1-2電極からアップストリーム電極の不応期に単発刺激を行うと、アップストリーム電極の5-6番電極では頻拍のリセットは認められない(図3B)。このようにダウンストリーム電極からの単発刺激直後のアップストリーム電極の頻拍周期を計測し、頻拍がリセットされたか判断することで、多電極カテーテルが回路上に存在しているかを確認することが可能である。

IV. 単発刺激法の診断能と頻拍停止の頻度

本研究では、2017年12月から2020年3月までに施行した48のマクロリエントリーATを対象とし

た。多電極カテーテルはCTI、左房天蓋部、MIおよびcritical isthmusに留置し、各部位で単発刺激法とエントレインメントペーシングをそれぞれ施行した。頻拍回路は、高周波アブレーションによる頻拍の停止、または高周波アブレーション後に誘発不能になることで確定診断とした。

この研究に含まれた44人の患者背景、48のAT(平均TCLは 238 ± 42 ms)の最終診断、使用した三次元マッピングシステムを表1に示す⁶⁾。単発刺激法およびエントレインメントペーシングは、平均 2.5 ± 0.8 カ所で施行された。単発刺激法でのアップストリーム電極とダウンストリーム電極の平均時相差は 40 ± 15 msであった。

単発刺激法は、回路上では94%(48/51)の場所でATのリセットが確認され、回路外ではすべての場

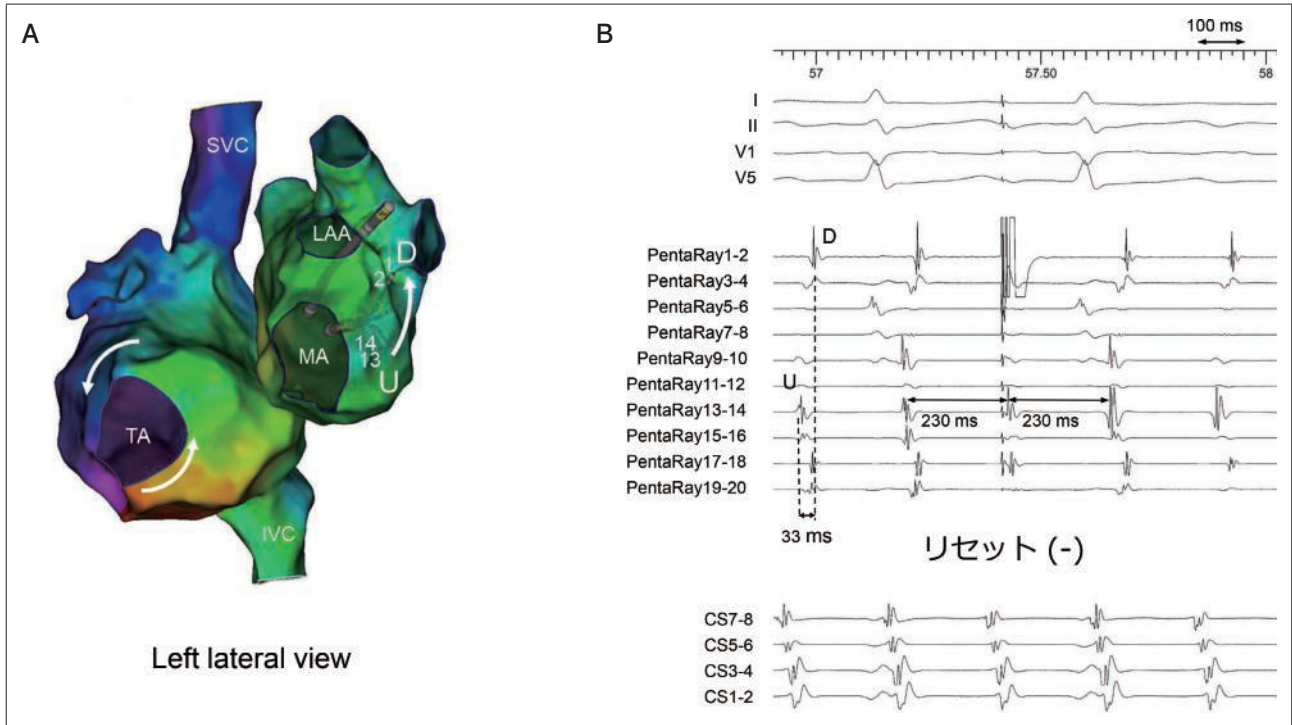


図3 通常型心房粗動に対して下大静脈三尖弁峡部で単発刺激法を行った例

僧帽弁峡部(mitral isthmus : MI)に多電極マッピングカテーテルを留置した際の三次元マッピングシステム画像(A). MIにマッピングカテーテルを留置した際の心内心電図(B). アップストリーム電極とダウンストリーム電極には33 msの時相差が生じ、アップストリーム電極の不応期にダウンストリーム電極の9-10電極から単発刺激を行うと、アップストリーム電極での頻拍のリセットは認められない。

所でATのリセットは認められなかった(表2)⁶⁾. エントレインメントペーシングは、回路上では全ての場所でPPI (post pacing interval) -TCLは30 ms以下であり、回路外では全ての場所で30 ms以上であった。両診断ペーシング法の診断能は、単発刺激法とエントレインメントペーシングの陽性的中率(positive predictive value : PPV)と陰性適中率(negative predictive value : NPV)は同等であった(表3)⁶⁾. 頻拍の変化または停止の頻度は、エントレインメントペーシングよりも単発刺激法で有意に低かった(1% [1/117]対10% [12/117], P = 0.003). 頻拍をTCLが210 ms以上と未満で2つのグループに分けて解析すると、エントレインメントペーシングは、TCLが210 ms未満の頻拍で210 ms以上の頻拍よりATの停止が有意に多かったが、単発刺激

法はTCLに関わらず診断能やATの停止の頻度は同等であった(表4)⁶⁾.

V. 複雑な頻拍回路を呈する症例における回路の推定

ダブルループリエントリーやマイクロリエントリーなどの複雑な頻拍では、三次元マッピングシステムのみでは正確な回路の判定が困難な場合がある。図4に示すようなダブルループの症例では、アクチベーションマップのみではアクティブな回路とパッシブな回路の判別は難しい。しかし、このような症例においても、アクティブな回路に多電極カテーテルを留置し単発刺激法を行うと頻拍はリセットされ、パッシブな回路では頻拍はリセットされなかった。よって、複雑な頻拍の症例においても、単

表 1 患者背景と心房頻拍の特徴

Patient characteristics (n = 44)	
Age (years)	67 ± 9
Male sex	31 (70%)
BMI (kg/m ²)	24 ± 4
LVEF (%)	60 ± 11
LAD (mm)	43 ± 7
Clinical arrhythmia	
AT	16 (36%)
AF + AT	28 (64%)
Paroxysmal AF	13 (30%)
Persistent AF	15 (34%)
AT characteristics (n = 48)	
Type	
Common flutter	26 (54%)
Uncommon flutter	22 (46%)
Perimitral AT	8 (17%)
LA roof-dependent AT	7 (15%)
LA scar-related macroreentrant AT	3 (6%)
PV gap reentry	2 (4%)
RA scar-related macroreentrant AT	1 (2%)
Undetermined	1 (2%)
CL (ms)	238 ± 42
Mapping module used	
PentaRay (CARTO)	37 (77%)
AFocus II (Ensite NavX)	9 (19%)
Orion (RHYTHMIA)	2 (4%)

平均±標準偏差または症例数とペーシング部位数(%). AF:心房細動, AT:心房頻拍, BMI:body mass index, CL:周期, LA:左房, LAD:左房径, LVEF:左室駆出率, PV:肺静脈, RA:右房.

表 2 回路内外での2つの診断ペーシングを行った結果

	Within the circuit	Outside the circuit	P value
Scanned extrastimulus delivery (n = 116)			
AT reset	48 (94%)	0 (0%)	< 0.0001
Reset interval (ms)	22 ± 16	0	< 0.0001
Entrainment pacing (n = 105)			
PPI-TCL ≤ 30 ms	48 (100%)	0 (0%)	< 0.0001
PPI-TCL (ms)	13 ± 8	89 ± 36	< 0.0001

平均±標準偏差またはペーシング部位数(%). AT:心房頻拍, PPI:post pacing interval, TCL:頻拍周期.

表 3 2つの診断ペーシングの診断能とペーシングによる頻拍の変化や停止の頻度

	Scanned extrastimulus delivery	Entrainment pacing	P value
PPV	48/48 (100%)	48/48 (100%)	—
NPV	65/68 (96%)	57/57 (100%)	0.25
AT alteration or termination	1/117 (1%)	12/117 (10%)	0.003
Alteration	1/117 (1%)	10/117 (9%)	0.01
Termination	0/117 (0%)	2/117 (2%)	0.50

ペーシング部位数(%). AT:心房頻拍, NPV:陰性的中率, PPI:post pacing interval, PPV:陽性的中率.

表 4 頻拍周期ごとの2つの診断ペーシングの診断能

	ATCL < 210 ms	ATCL ≥ 210 ms	P value
Scanned extrastimulus delivery			
PPV	11/11 (100%)	37/37 (100%)	—
NPV	15/16 (94%)	50/52 (96%)	0.56
AT alteration or termination	0/27 (0%)	1/90 (1%)	1.00
Entrainment pacing			
PPV	9/9 (100%)	39/39 (100%)	—
NPV	12/12 (100%)	45/45 (100%)	—
AT alteration or termination	6/27 (22%)	6/90 (7%)	0.03

ペーシング部位数(%). AT:心房頻拍, ATCL:心房頻拍の頻拍周期, NPV:陰性的中率, PPV:陽性的中率.

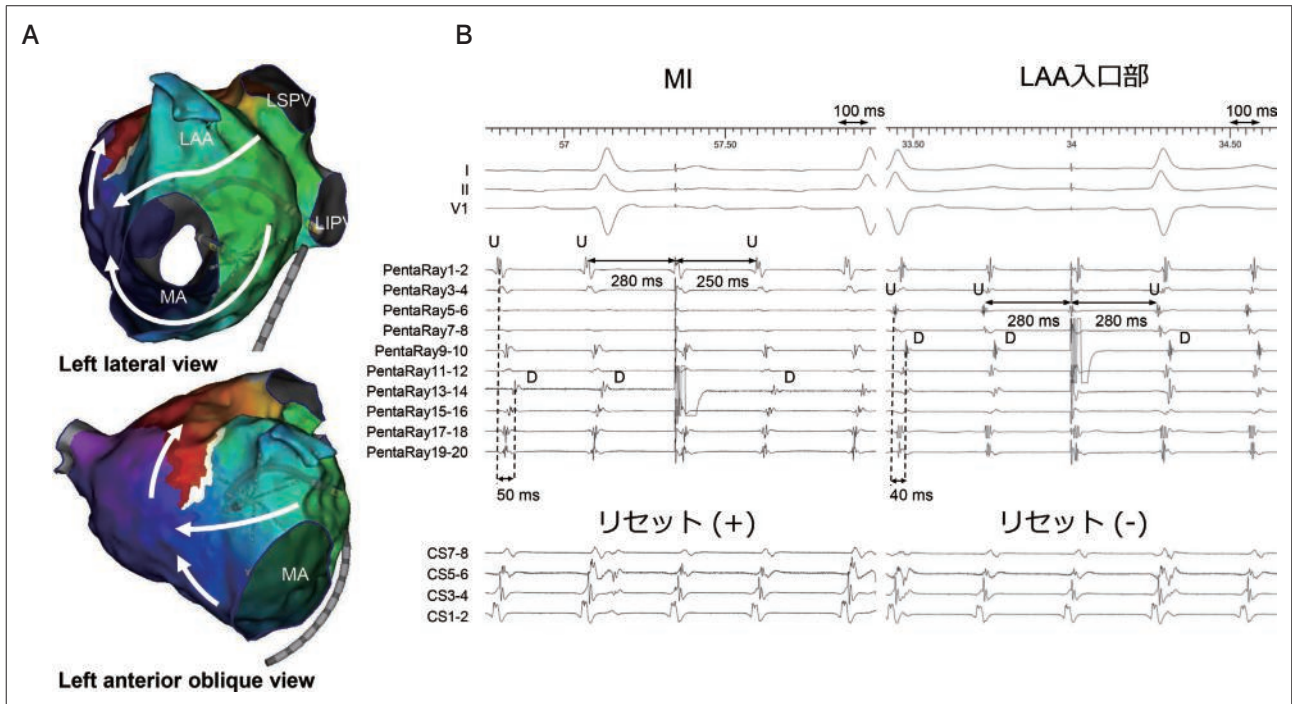


図 4 ダブルループリエントリーに対して単発刺激法を行った例

僧帽弁峡部(mitral isthmus: MI)と左心耳(left atrial appendage: LAA)入口部に多電極マッピングカテーテルを留置した際の三次元マッピングシステム画像(A). MIとLAA入口部にマッピングカテーテルを留置した際の心内心電図(B). MIではアップストリーム電極とダウンストリーム電極には50msの時相差が生じ、アップストリーム電極の不応期にダウンストリーム電極の13-14電極から単発刺激を行うと、アップストリーム電極では頻拍のリセットが認められる.一方で、LAA入口部ではアップストリーム電極とダウンストリーム電極には40msの時相差が生じ、アップストリーム電極の不応期にダウンストリーム電極の9-10電極から単発刺激を行うと、アップストリーム電極では頻拍のリセットは認められない.以上の所見から、僧帽弁の下を旋回する伝導がアクティブな回路と考えられる.

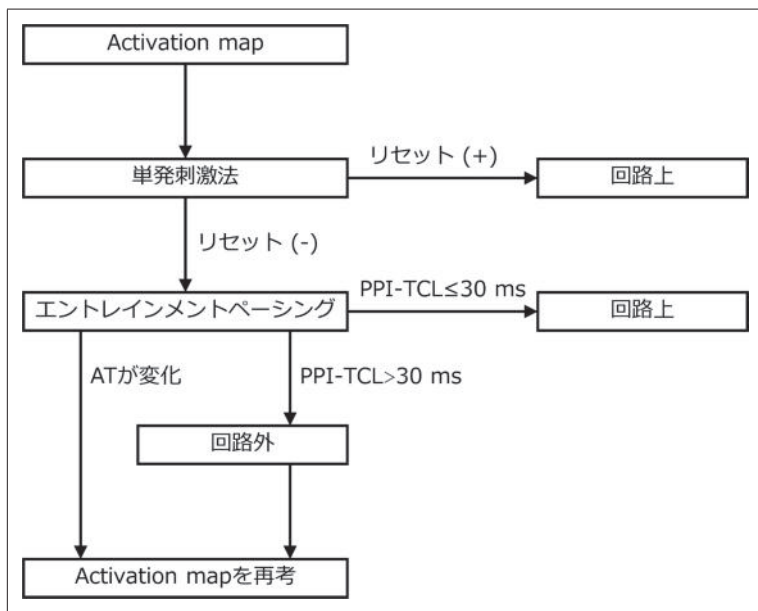


図 5
推奨する心房頻拍の診断フローチャート

発刺激法は回路の推定に有用である可能性があると考えられる。

VI. 今後の臨床応用

本研究により、単発刺激法は AT を停止させにくいという点において、エントレインメントペーシングに優る可能性がある。そこで本研究の結果を踏まえ、頻拍の停止のリスクを減らしながら AT 回路の診断するために、図 5 に示すフローチャートでの AT 回路診断を提案する。まず、三次元マッピングシステムを用いてアクチベーションマップの作成を行い、AT 回路の推定を行う。続いて、推定された頻拍回路上の部位に多電極カテーテルを留置し、頻拍を停止させるリスクがエントレインメントペーシングよりも低い単発刺激法を施行する。単発刺激法により頻拍のリセットが認められた場合は、回路上と診断し、アブレーションに移行する。ただし、単発刺激法は頻拍回路上であっても頻拍のリセットが認められない場合があるため、単発刺激法で頻拍のリセットが認められなかった場合は、エントレインメントペーシングを用いて診断を確認する。このフローチャートで診断を行うと、頻拍を停止させるリスクを減らしつつ頻拍回路の診断が可能になるた

め、頻拍中にアブレーションを行える可能性が高まるだろう。

VII. おわりに

AT 中に多電極カテーテルのダウストリーム電極からアップストリーム電極の不応期に単発刺激を入れ、頻拍のリセットを確認する心房頻拍回路の診断方法は、ペーシングによる AT の変化や停止の頻度は低く、良好な診断能を有する可能性がある。

付記

本稿は、第 26 回日本不整脈心電学会学術奨励賞優秀賞を受賞した論文とともに、総説としてまとめたものである。なお、表 1~4 は、受賞論文より引用した。

利益相反・研究財源

なお、本論文について、開示すべき利益相反事項はない。

受賞論文

Wakamatsu Y, Nagashima K, Iso K, Sonoda K, Watanabe R, Arai M, Otsuka N, Hayashida S,

Yagyu S, Hirata S, Kurokawa S, Ohkubo K, Nakai T, Okumura Y : Resetting of atrial tachycardia by a scanned extrastimulus at a downstream site on a multielectrode catheter : a simple diagnostic maneuver for locating the macroreentrant atrial tachycardia circuit. *J Interv Card Electrophysiol*, 2022 ; 63 : 39-47. doi : 10.1007/s10840-020-00934-4.

〔文 献〕

- 1) Barbhaiya CR, Kumar S, Ng J, et al. : Overdrive pacing from downstream sites on multielectrode catheters to rapidly detect fusion and to diagnose macroreentrant atrial arrhythmias. *Circulation*, 2014 ; 129(24) : 2503-2510
- 2) Patel AM, d'Avila A, Neuzil P, et al. : Atrial tachycardia after ablation of persistent atrial fibrillation : identification of the critical isthmus with a combination of multielectrode activation mapping and targeted entrainment mapping. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2008 ; 1(1) : 14-22
- 3) Pascale P, Shah AJ, Roten L, et al. : Pattern and timing of the coronary sinus activation to guide rapid diagnosis of atrial tachycardia after atrial fibrillation ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2013 ; 6(3) : 481-490
- 4) Barbhaiya CR, Kumar S, Ng J, et al. : Avoiding tachycardia alteration or termination during attempted entrainment mapping of atrial tachycardia related to atrial fibrillation ablation. *Heart Rhythm*, 2015 ; 12(1) : 32-35
- 5) Strisciuglio T, Vandersickel N, Lorenzo G, et al. : Prospective evaluation of entrainment mapping as an adjunct to new-generation high-density activation mapping systems of left atrial tachycardias. *Heart Rhythm*, 2020 ; 17(2) : 211-219
- 6) Wakamatsu Y, Nagashima K, Iso K, et al. : Resetting of atrial tachycardia by a scanned extrastimulus at a downstream site on a multielectrode catheter : a simple diagnostic maneuver for locating the macroreentrant atrial tachycardia circuit. *J Interv Card Electrophysiol*, 2022 ; 63(1) : 39-47

A Diagnostic Maneuver with a Scanned Extrastimulus Using a Multielectrode Catheter to Identify Macroreentrant Atrial Tachycardia Circuits

Yuji Wakamatsu, Koichi Nagashima, Yasuo Okumura

Division of Cardiology, Nihon University School of Medicine

Entrainment is a useful method for locating reentrant atrial tachycardia (AT) circuits, but alterations or termination of the AT can derail this process. AT resetting by the delivery of a scanned atrial extrastimulus at a site of activation downstream from the neighboring electrodes on a multielectrode catheter when the upstream tissue is refractory may be a useful diagnostic maneuver to avoid AT alterations and termination. In this study, we evaluated the diagnostic performance and the frequency of AT alterations and termination in entrainment pacing and the scanned atrial extrastimulus for 48 atrial tachycardias. The positive predictive value for both diagnostic maneuvers was 100%, and the negative predictive value was equivalent for the entrainment pacing and the scanned atrial extrastimulus (96% vs. 100%, $P = 0.25$). The frequency of AT alterations and termination due to diagnostic maneuver was lower with scanned atrial extrastimulus than with entrainment pacing (1% vs. 10%, $P = 0.003$). Scanned atrial extrastimulus using a multielectrode mapping catheter may enable the diagnosis of AT circuits while avoiding AT alterations and termination.

Keywords : Atrial tachycardia, Entrainment pacing, Macroreentry, Reset, Scanned Extrastimulus delivery