

Maze手術の理論と実際

磯部文隆*

近年、心房細動は放置できない不整脈であるという認識が定着しつつある。脈の不整感、心機能の低下、さらに血栓塞栓症の危険性という心房細動の三大悪弊が認識され、従来は全く無視されていた不整脈であったが、何らかの治療を行わなければならないと考えられるようになった。米国のCox教授は、外科的治療法としてMaze手術を考案し、孤立性心房細動を主対象として手術を行ってきた。その成績が認められるようになり、本邦ではいち早く導入され、早くも保険償還される術式として認知されるまでとなっている。

今回、Maze手術の基本的概念と術式およびその成績について述べる。

基本的概念—心房粗細動の機序

心房細動の治療には、その機序が明らかにならなければ対処はできない。従来、その機序として、自動能亢進性とリエントリー性の論議があった。当初は、異所性自動能亢進性起源により心房筋全体の細動をきたす¹⁾と考えられたが、心房細動を呈している心房を細分化すると心房細動は停止したという実験結果²⁾から、細動を続けるには必要最小限な心筋塊の大きさが必要であり、その機序として自動能亢進性ではなくリエントリー性と推論された。Moeは“multiple wavelet hypothesis”を発表し、早期刺激により誘発が可能という現象から、自動能でなくリエントリー性不整脈であることを明らかにした³⁾。

また、心房細動の発生にとって、心房の地理的關係、解剖学的障壁が重要であるとする多数の報告⁴⁻⁷⁾があり、心房内の種々の構造物、例えば上大静脈、下大静脈、肺静脈、右心耳、左心耳、僧

帽弁輪、三尖弁輪などの開口部が関与することが明らかになった。

Allessieらは、局所の不応期の違いにより生じた機能的ブロックが、興奮が旋回する障害物を規定するとするleading circle theoryを提唱し⁸⁾、また遊離心房筋片で心房細動中に多数のリエントリー回路の存在を確認した。はじめてMoeのmultiple wavelet theoryを確証し、不応期のばらつきの重要性を指摘した⁹⁾。さらにWavelengthの概念を導入し、心房細動の維持に必要な心筋塊の大きさを推定した。

以上より、現在、心房粗動・心房細動はリエントリー性不整脈であるとされている。心房粗動は単一の旋回回路によるもので、正常にみられる左右心房の不応期の差(右房:長い, 左房:短い)から、より右心房で発生しやすい。一方、心房細動は同時に多数のリエントリー回路が存在することが特徴である。洞性刺激や安定した心房粗動リエントリー回路が基本であっても、隣接する心房筋の不応期の不均一性により多数のリエントリー回路に変性し心房細動様となる可能性も指摘されている。心房の地理的構造, anisotropy, 心房筋の組織病理学的変化が心房粗動, 心房細動を起りやすくすると考えられている。

Coxの実験的試み

心房細動の機序に関する考察から、右房左房の自由壁内の“不連続”の大きな領域が解剖学的障壁となりマクロリエントリーを潜在的に発生させるとし、心房細動を根治する試みの第一歩として、左右心房内の不連続領域間の伝導路を遮断しようとした。

当初、外科治療として、左心房に注目した。右心房内の回路のため心房粗動は発生する可能性が

*国立大阪病院心臓血管外科

残るものの、左心房のリエントリー回路を消滅させえたら心房細動は消失するはずと考え、図1に示す種々の切開による不整脈の推移を実験した¹⁰⁾。その結果から、最終的に、右房自由壁から上下大静脈間の分界稜、心房中隔の前中隔を切開し、肺静脈と左心耳の間で左房の天井部から僧帽弁の外側弁輪に至る“atrial transection procedure”が考案された(図2)。犬の実験にて心房細動は誘発

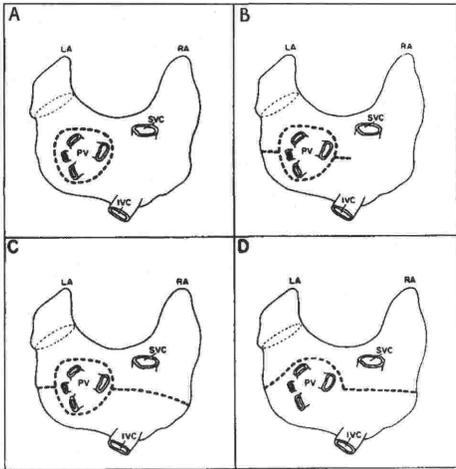


図1 心房細動に対する実験的試み (文献¹⁰⁾より引用)
 A. 左房から肺静脈を隔離。
 B. 切開線を外側には僧帽弁輪まで内側には心房中隔まで延長した。
 C. 切開線を卵円窩の前脚を介してTodaro 腱までと右心房自由壁から三尖弁輪まで延長した。
 D. 心房横切開法。抗不整脈効果に差がなかったので肺静脈隔離の下部を省略した。

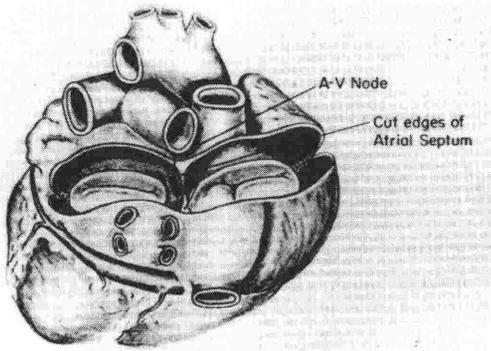


図2 “atrial transection procedure”
 一人に臨床応用された。術後早期には心房細動は消失したが、術後5ヶ月後に再発した(文献¹⁰⁾より引用)。

されなくなることが実証されたため、臨床応用された。残念ながら、術後早期は有効であったが、術後5か月後に心房細動が再発し、以後実施されなくなった。

次に、マッピングガイド下での手術を目指し、心房細動のマッピングを精力的に施行した。多くの症例で単一の心房粗動波により全心房が興奮している所見が得られたが、一旦 multiple reentrant flutter により心房細動が引き起こされると、非常に複雑な興奮パターンとなり解析に長時間を要し、マッピングではある時点の旋回回路を特定できないにすぎないことから、他の不整脈手術のようには術中のマッピングガイドは有用でないと判断された。

そこで、洞結節から興奮が発し、隅々の心房筋に一方向性に興奮伝播し、房室伝導も維持されることを条件に、心房筋のサイズを縮少し興奮旋回し難くすると共に、理論的に可能性のあるすべてのマイクロリエントリー回路を絶ち切る一定の心房切開線を考案した(図3、図4)。Maze手術として、1987年に第一例目を実施した。

Maze手術後でも、心房筋の不応期が非常に短くなればマイクロリエントリーが心房切開線間の比較的狭い心房筋束内で生じることは十分予想される。このようなマイクロリエントリーによるい

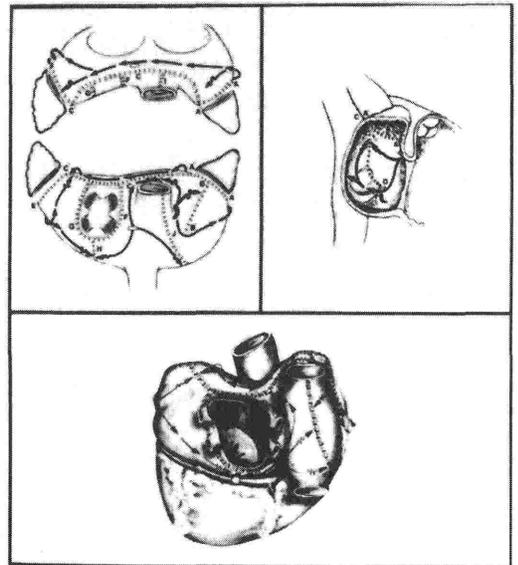


図3 Maze手術原法(Maze I)(文献¹⁰⁾より引用)

いわゆる微細な心房細動は、術前無効であった薬剤でも不応期を延長ないしは伝導速度を増すことによりリエントリー回路を少し大きくするだけで、Maze 手術後の狭い筋束内ではもはや興奮旋回できず容易に停止させることができると考えた (図 4)。

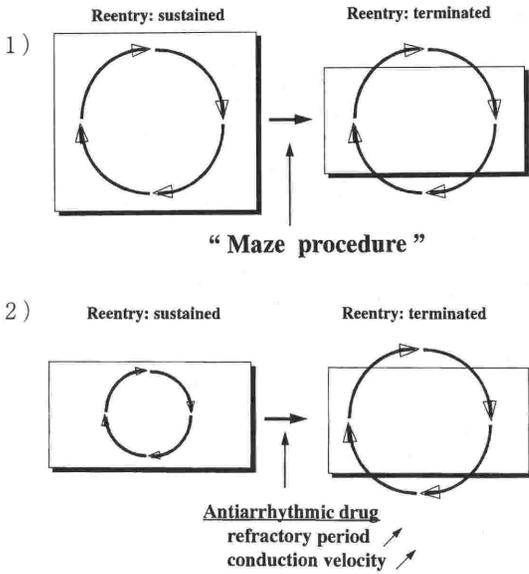


図 4 Maze 手術の理論

- 1) 心房筋のサイズを小さくし、興奮旋回し難くする。
- 2) Maze 手術後のマイクロリエントリーによる心房細動は、薬剤によりリエントリー回路を少し大きくするだけで、Maze 手術後の狭い筋束内ではもはや興奮旋回できなくなり容易に停止させることができる。

Maze 手術原法：Maze I (図 3)

Maze 手術の原法 (Maze I) の具体的手術手技は、J Thorac Cardiovasc Surg 1991:101:584-592を参照していただきたい¹¹⁾。原法による症例を重ねることにより、術後に明らかに医原性の洞機能不全症候群が発生する例のあることがわかってきた。Cox らの報告では、Maze I 術後に56%にペースメーカー植込込みを要した¹²⁾。その原因として、洞結節への血流障害が考えられた。

洞結節動脈の分枝走行様式

洞結節動脈の分枝走行様式を検討すると、右冠動脈の第一分枝である右洞結節動脈 (RSA)，左冠動脈の回旋枝から早期に分枝する左洞結節動脈 (left sinus node artery, LSA)，また回旋枝が大きく左心耳を巡ってから分枝し反転して左房の天井を走行する左後洞結節動脈 (left posterior sinus node artery, PSA) の三つの分枝様式が基本とされている (図 5)。McAlpine¹³⁾によると、100例中 RSA 48例、LSA 30例、PSA 22例の頻度であった。また、上大静脈の周囲での洞結節動脈の走行は、半時計回り37例、時計回り55例、動脈輪を形成しているのが8例であった。Busquet¹⁴⁾によると、50例中半時計回り29例、時計回り18例、動脈輪を形成しているのが3例であった。

この分布様式を念頭に、Maze 手術原法での心房切開線を考慮すると、Maze I ではすべての洞結節動脈が切断されている (図 6-1)。

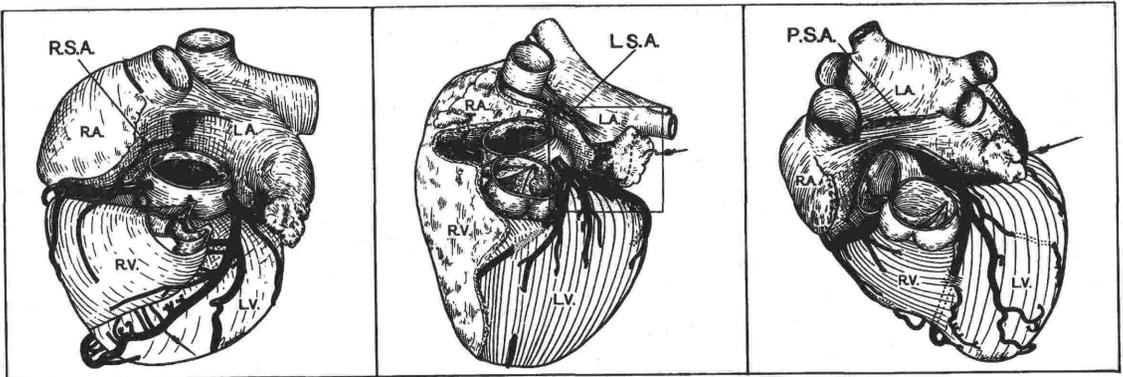


図 5 洞結節動脈の分枝走行様式 (文献¹³⁾より引用)
R.S.A.: 右洞結節動脈, L.S.A.: 左洞結節動脈, P.S.A.: 後洞結節動脈

手術法の変遷：Maze I, II, III, modified Maze III

洞結節動脈の温存を考慮し、Cox 自身が手術切開線を変更し、Maze II, Maze III と変遷した。

Maze II：洞結節動脈が走行する左右心房前面での切開線を選び、上大静脈から心房中隔さらに左房肺静脈隔離線に至る切開線をより頭側に移した(図6-2)。同時に、手術視野を良くするため、上大静脈を完全に離断し、左房の手術操作を容易に行えるようにした。離断した上大静脈の再建時に狭窄を生じたこともあり、Maze IIIに移行した。

Maze III：心房中隔切開線をさらに背側に移した(図6-3)。心房中隔の後中隔を切断するため、上大静脈を離断しなくても左房の良好な視野を得ることができた。心房の前面を全く切開しないため、洞結節動脈を温存できる可能性が高くなった¹⁵⁾。

modified Maze III：しかし、Maze 手術 I, II, III いずれの方法でも、左心耳切除後の左心耳口から肺静脈隔離線に至る切開線により posterior SA node artery であれば必ず切断される。そこで、著者はこの切開線を変更し、左心耳切除口から反対の僧帽弁輪にむけて切開を延長し、僧帽弁輪部に凍結凝固を置き posterior SA node artery を温存する変法を行った(図6-4、図7)。

いずれの術式であっても、右房外側部の切開線による末梢部での洞結節動脈損傷の可能性は否定できない点が、依然問題であった。

その他の変法として、実際の心房切開の代行として凍結凝固を多用する方法も施行されている¹⁶⁾。

しかし、凍結凝固法の伝導能離断効果の不確実性と心房筋障害が広範囲となり術後の心房収縮に不利と考え、著者は心房の切開縫合を基本として行ってきた。

手術成績

Cox は、1995年に、手術効果としては、Maze III で心房細動残存率は6%であったが、いずれも薬物投与により100%コントロールし得ていると報告した¹²⁾。また、ペースメーカーの植え込みも、Maze I で56%、Maze II で29%、Maze III で25%と改善したと同時に報告している。勿論、孤立性心房細動例に洞機能不全症候群の合併が多いことは予想されるが、いまだ高頻度といわざるを得ない。

著者の経験では、1993年3月から1995年9月ま

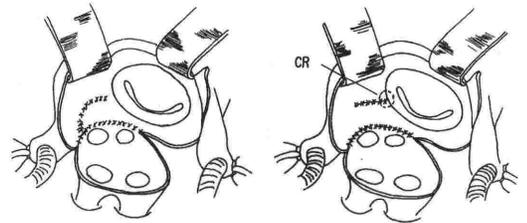


図7 modified Maze III

- 1) Maze 手術では、I, II, III いずれの方法でも左心耳切除後心耳口から肺静脈隔離線に切開線を延ばし、左心耳口の縫合線を肺静脈隔離線に連続させる。
- 2) 1)の切開線により後洞結節動脈が切断されるため、左心耳切除口から反対の僧帽弁輪に向けて切開を延長し僧帽弁輪部に凍結凝固(CR)を置くのが modified Maze III である。

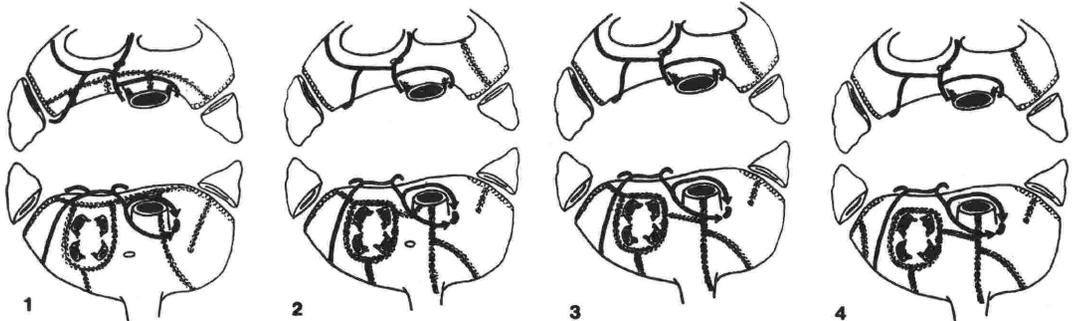


図6 Maze 手術による洞結節動脈の障害部位
1) Maze I 2) Maze II 3) Maze III 4) modified Maze III

でに連続して手術した僧帽弁手術症例34例中予定通り完璧に Maze 手術を施行し得た30例において、29例 (90%) が洞調律に復した。このうち、房室結節回帰性頻拍を合併し抗不整脈薬の投与を必要とし、徐脈が増悪した1例 (3.3%) に、ペースメーカーの植え込みを必要としたのみであった。以上より、僧帽弁膜症に合併する心房細動例にも、Maze 手術が有効であることが示された。また、心配された右房外側部の切開線による洞結節動脈の障害による洞機能不全症候群の発生頻度は高くないと考えられた。

僧帽弁膜症における Maze 手術の適応

著者が行った連続30例の手術結果で、洞調律に復した群と心房細動が持続した群の比較を行った。術前、心電図上 V_1 誘導での f 波電位が小さい、心胸郭比が大きい、心エコー上の左房径が大きい、心房細動の罹病期間が長い症例で、心房細動が遺残した。図8に示すごとく、心胸郭比 $\geq 70\%$ 、左房径 $\geq 80\text{ mm}$ の症例は、Maze 手術を施行しても洞調律に復さないことから、手術適応からは除外されるべきであろう。

おわりに

心房細動の三大悪弊を取り除くことができる現時点での唯一の方法として Maze 手術が開発され、その効果が非常に期待されている。とくに我が国では、弁膜症例が減少したとはいえ、いまだ心房細動を有する弁膜症例は多い。また、近年変性疾患としての僧帽弁疾患も増加しており、弁形成術が積極的に行われており、このような症例こそ術後の抗凝固療法を必要としない点で、本術式の有

用性がさらに期待される。残念ながら、Maze 手術の最大の利点とされる血栓塞栓症の予防効果については評価できていない。今後、症例の蓄積と厳密な追跡調査によりいずれこの点についても明らかになり、本法の評価と適応が明確になるであろう。

文 献

- 1) Rothberger CJ, Winterberg H: Uber Vorhofflimmern und Vorhofflattern. Pflugers Arch 160: 42-49, 1914
- 2) Engelmann TW: Refraktaere Phase und kompensatorische Ruhe in ihrer Bedeutung fuer den Herzrhythmus. Pflugers Arch Ges Physiol 59: 309-349, 1894-95
- 3) Moe GK: On the multiple wavelet hypothesis of atrial fibrillation. Arch Int Pharmacodyn 140: 183-188, 1962
- 4) Lewis T, Drury AN, Iliescu CC: A demonstration of circus movement in clinical flutter of the auricles. Heart 8: 341-359, 1921
- 5) Rosenbleuth A, Garcia RJ: Studies on flutter and fibrillation. II. The influence of artificial obstacles on experimental auricular flutter. Am Heart J 33: 677-684, 1947
- 6) Kimura E, Kato A, Murao S, et al: Experimental studies on the mechanism of the auricular flutter. Tohoku J Exp Med 60: 197-207, 1954
- 7) Rytan DA: The circus movement (entrapped circuit wave) hypothesis and atrial flutter. Ann Intern Med 65: 125-157, 1966
- 8) Allesie MA, Bonke FIM, Schopman FJG: Circus movement in rabbit atrial muscle as a mechanism of tachycardia. III. The "leading circle" concept: a new mode of circus movement in cardiac tissue without the involvement of an anatomical obstacle. Circ Res 41: 9-18, 1977
- 9) Allesie MA, Lammers WJEP, Bonke FIM, et al: Experimental evaluation of Moe's multiple wavelet hypothesis of atrial fibrillation. In: Zipes DP, Jalife J, eds. Cardiac electrophysiology and arrhythmias. Orlando, Florida: Grune & Stratton, 1985, pp. 265-275
- 10) Cox JL, Schuessler RB, D'Agostino HJ, et al: The surgical treatment of atrial fibrillation. III. Development of a definitive surgical procedure. J Thorac Cardiovasc Surg 101: 569-583, 1991
- 11) Cox JL: The surgical treatment of atrial fibrillation. IV. Surgical technique. J Thorac Cardiovasc Surg 101: 584-592, 1991
- 12) Cox JL, Boineau JP, Schuessler RB, et al: Modification of the maze procedure for atrial flutter and atrial fibrillation. I. Rationale and surgical results. J Thorac Cardiovasc Surg 110: 473-484, 1995
- 13) MacAlpine WA: Heart and coronary arteries. An anatomical atlas for clinical diagnosis, radiological investigation, and surgical treatment. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag, 1975, pp. 151-162
- 14) Busquet J, Fontan F, Anderson RH, et al: The surgical significance of the atrial branches of the coronary arteries. Intern J Cardiol 6: 223-234, 1984

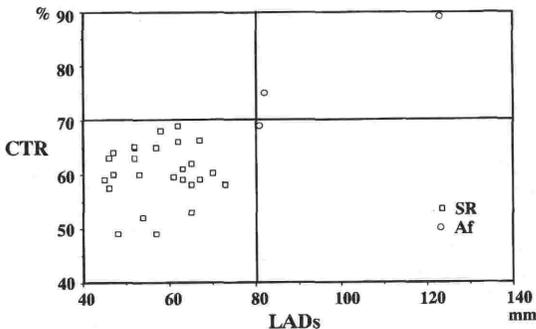


図8 心胸郭比と左房径からみた Maze 手術の適応

- 15) Cox JL, Jaquiss RD, Schuessler RB, et al : Modification of the maze procedure for atrial flutter and atrial fibrillation. II. Surgical technique of the maze III procedure. J Thorac Cardiovasc Surg 110 : 485-495, 1995
- 16) Kosakai Y, Kawaguchi A, Isobe F, et al : Cox maze procedure for chronic atrial fibrillation associated with mitral valve disease. J Thorac Cardiovasc Surg 108 : 1049-1055, 1994