

## 心房細動手術の現況と将来の展望

新田 隆\*

### はじめに

近年、発作性心房細動に対するカテーテルアブレーションの成功率が向上し、その有効性が認められるようになったが、慢性心房細動に対しては現在でも外科治療が唯一の根治療法である。心房細動手術の手術手技は確立され、弁手術や成人先天性心疾患など他の心臓手術との同時手術として広く施行されるようになった。手術成績も安定し、適切な症例に施行すれば高率に心房細動を洞調律に復帰させ、術後のQOLを大きく向上させる。今後の課題は、手術の簡略化と低侵襲化を目的とした術式の改良、切開再縫合と同様に心房伝導ブロックを確実に作成できるデバイスの開発である。将来は、人工心肺や心停止を必要とせずに、小切開創から行う手法の確立が期待される。本稿では、心房細動手術の効果と意義を検証するとともに、外科治療の現状と将来の展望について述べる。

### 心房細動手術の効果と意義

心房細動に対する非薬物療法の目的は、以下の3点にある。

1. 不整脈と頻拍の解除
2. 心房収縮の回復による心機能の改善
3. 血栓塞栓症の予防

これらの観点から、心房細動手術の効果と意義につき述べる。

#### 1. 洞調律の回復

手術により心房細動が消失し、洞調律に復帰することにより、心房細動に伴う動悸や不整脈など

の諸症状は消失あるいは軽減する。手術の効果、すなわち洞調律復帰率は術前の諸因子に大きく依存する。左房の著明な拡大があると、心房細動手術を行っても心房リエントリーが維持されうるため、心房細動が残存する可能性が高い。具体的には、心エコー図における左房径が70 mm以上、心胸郭比が80%以上の場合には手術を行っても洞調律には戻らないことが多い<sup>1,2)</sup>。心房細動の罹患期間が10年以上と長期の場合でも、洞調律復帰率は低いとする報告もある。手術により心房細動が停止しても、5%前後で術後洞不全症候群のためにペースメーカー植込みが必要となる。高度の三尖弁逆流や心房中隔欠損症のために右房に容量負荷を生じている例や主要な洞結節動脈が左回旋枝から起始している例で、術後洞不全症候群の発生が多い。Coxら<sup>3)</sup>は、主に孤立性心房細動を対象としたmaze手術では、約95%の症例で術後洞調律に復した、と述べている。日本では弁膜疾患に伴う慢性心房細動に対するmaze手術変法が多いが、洞調律復帰率は70%から90%である<sup>4,5)</sup>。著者らの行っているradial手術の洞調律復帰率は88%であった<sup>6)</sup>。孤立性心房細動に対する手術に比較して僧帽弁疾患などの器質的心疾患に伴う心房細動に対する手術の方が洞調律復帰率が低いとする報告と差が無いとする報告がある<sup>7)</sup>。

#### 2. 血行動態への影響

高齢者あるいは高血圧や心筋症や弁膜疾患では左室拡張能が低下しているため、左室の拡張期充満に及ぼす左房収縮の役割は大きい。かかる症例で心房細動を合併した場合には、左室の充満不全のために心拍出量の低下を来す。したがって、心房細動手術により洞調律が回復するだけでなく、有効な左房収縮も回復することが血行動態の

\*日本医科大学大学院医学研究科機能制御再生外科学

改善に重要である。Maze 手術では、左房後壁の電氣的隔離、非生理的心房興奮パターンと興奮遅延、冠動脈心房枝の後中隔枝の切断に伴う後中隔の虚血のために術後の左房収縮能が不良であることが言われている<sup>8)</sup>。

Radial 手術<sup>9)</sup>は、左房後壁を隔離せずに温存し、さらに心房切開線を洞結節より房室間溝に向かって放射状に、すなわち心房興奮伝播と冠動脈走行に平行にデザインすることにより、生理的な心房興奮パターンと収縮能を温存する。超音波ドプラー法にて計測した左室流入部の血流で評価してみると、radial 術後の左房収縮能は maze 術後の約 2 倍であった。また、radial 術後の左房収縮能は術後早期より回復し、術後 3 ヶ月ですでに maze 術後遠隔期よりも良好であった<sup>10)</sup>。

磯部ら<sup>11)</sup>は、左房収縮を温存する目的で、右心耳だけでなく左心耳をも切除せず温存する両心耳温存 maze 手術を行い、術後良好な心房収縮能が得られたと述べている。

### 3. 血栓塞栓症の予防

心房細動の非薬物療法の最も重要な目的は左房内血栓の形成を阻止し、血栓塞栓症を予防することにある。Cox ら<sup>3)</sup>は、306例に maze 手術を行い、術中の脳梗塞発生率は0.7%で、さらに265例を最長11.5年間経過観察したところ、脳梗塞の発生は1例のみであった、と報告している。また、一過性脳虚血発作の発生は術前に血栓塞栓症の既往があった群では2%に認め、術前には血栓塞栓症の既往がなかった群では0.5%であった、と言う。一般的に、血栓塞栓症の既往がある孤立性心房細動患者の血栓塞栓症発症率は12%/年であり<sup>12,13)</sup>、抗凝固療法を行った場合には5.1%/年に減少することが知られている。これらの成績を比較してみると、明らかに抗凝固療法よりも maze 手術の方が血栓塞栓症の発生が少ないことが分かる。このことから、maze 手術は有意に心房細動に伴う血栓塞栓症の発生を抑制する、と結論される。

Bando ら<sup>14)</sup>は同様の検討を僧帽弁手術患者に対して行い、maze 手術を僧帽弁手術に合併して行うことによって有意に術後脳梗塞の発症が予防されると結論した。心房細動を放置し、僧帽弁置換術だけを行った群ではワルファリンによる抗凝固療法を継続しているにも拘らず3年間の術後観察

期間中に約15%で脳梗塞の発症が見られた。一方、maze 手術変法を同時施行した僧帽弁形成術あるいは人工弁置換術では、脳梗塞の発症率はそれぞれ約1%と2%、と有意に発症率が低かった。このような maze 手術の血栓塞栓症に対する予防効果の機序として、洞調律の回復による心房収縮の回復と共に左房内血栓の好発部位である左心耳の切除が考えられる。

### 心房細動手術の適応

日本循環器学会「不整脈の非薬物療法のガイドライン」<sup>15)</sup>を表1に示す。弁膜疾患、先天性心疾患、虚血性心疾患などに合併する心房細動では、基礎疾患に対する心臓手術と同時に心房細動に対

表1 心房細動の手術適応

クラス I	なし
クラス II a	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 器質的心疾患に対する心臓手術を行う場合</li> <li>2. 血栓溶解療法抵抗性の左房内血栓症の合併、あるいは適切な抗凝固療法にも拘らず左房内血栓に起因する塞栓症の既往を有する場合</li> <li>3. カテーテルアブレーションの不成功例あるいは再発例</li> </ol>
クラス II b	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 孤立性心房細動で、動悸などの自覚症状が強く、QOL の著しい低下があり、薬物療法では改善されない場合</li> <li>2. 薬物療法が無効な発作性心房細動で、除細動などの救急治療を繰り返している場合</li> </ol>
クラス III	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 心房および心胸郭比の著明な拡大があり、心電図における細動波が低電位で、手術を行っても洞調律復帰が困難、あるいは洞調律に復帰しても有効な心房収縮が得難い場合</li> </ol>
適応の分類は、下記 ACC/AHA ガイドラインの表記法に基づいている。	
クラス I	：有益であるという根拠があり、適応であることが一般的に同意されている。
クラス II a	：有益であるという意見が多いもの。
クラス II b	：有益であるという意見が少ないもの。
クラス III	：有益でないまたは有害であり、適応でないことで意見が一致している。

しても手術を行い洞調律に復帰させることが望ましい。特に弁形成術あるいは生体弁による人工弁置換術、あるいは先天性心疾患の成人期手術や冠動脈バイパス術では、心房細動手術によって洞調律と心房収縮が回復されるために術後抗凝固療法が不要となり、術後のQOL改善は著しい。心室拡張能低下例では、心房収縮の回復に伴い血行動態も改善される。僧帽弁疾患ではしばしば心房細動を合併するために心房細動手術が行われることが多い。特に、弁形成術が可能な非リウマチ性僧帽弁閉鎖不全症に伴う心房細動では、術後の抗凝固療法が不要となるだけでなく良好な左房収縮の回復が期待されることから、心房細動手術の最も良い適応と考えられる。

器質的心疾患を伴わない孤立性心房細動では、脳梗塞などの血栓塞栓症の既往例や、左房内血栓がすでに認められる場合は手術適応である。また、左心耳内の血流速度低下例や、モヤモヤエコーが認められる例では血栓塞栓症の発症リスクが高いため、手術を考慮する。若年者では、長期にわたる抗凝固療法に伴う出血性合併症を考慮に入れ、積極的に手術適応を考慮する。

発作性心房細動では頻拍出現時に強い動悸やめまいを訴えることがある。発作性頻拍のために慢性心房細動よりも自覚症状は強く、頻回に救急処置を繰り返している例も多く根治療法が必要である。近年盛んに行われている、発作性心房細動における肺静脈開口部に対するカテーテルアブレーションは、カテーテルの改良や焼灼方法の変更により成功率も向上してきている。しかし、依然としてカテーテルアブレーションの不成功例あるいは再発例も多く、かかる症例では外科治療が考慮される。

### 心房細動手術の現状

本邦では弁膜症などの成人心臓手術に合併して心房細動手術が行われることが多い。心房細動手術を付加することにより手術死亡率が上昇することはないが、出血のリスク減少と術式の簡略化を目的として、切開線の代わりに冷凍凝固を多用したmaze変法<sup>4)</sup>を行っている施設も多い。冷凍凝固が不完全だと心房細動が除細動されないばかりか、遅延伝導回路を形成して術後に心房粗動あるいは心房リエントリー頻拍が持続することがある

ので注意が必要である。最近、切開や冷凍凝固の代わりに高周波エネルギーを用いた線状焼灼も臨床応用されている。同法では一回で長い距離を焼灼できるので心停止時間の短縮になるが、内臓側焼灼の場合には炭化や血栓形成に注意が必要である。

僧帽弁疾患では、左房および肺静脈への圧あるいは容量負荷が心房細動の発生と維持に関係する電気生理学的異常を引き起こしていると考えられていることから、左房だけのmaze手術<sup>5)</sup>、さらには肺静脈だけの冷凍凝固を用いた電氣的隔離のみを行っている施設もある。不成功例や再発例に対するカテーテルアブレーションによる右心房への追加焼灼術が確立されるのであれば、臨床上有用であろう。

### 将来の展望

現在の心房細動手術の問題点は、心房細動の電気生理学的機序が未だ解明されていないために、心房細動の原因となりうるすべての可能性を絶つように術式がデザインされていて、そのために技術的にも困難で所要時間も決して短くはない点にある。さらに、手術の有効性が必ずしも全例で得られるわけではない点も問題である。したがって、これらの問題点を解決するには表2に示した諸点が今後の重要な課題と考えられる。

著者らは心房細動の電気生理学的機序を解明する目的で、僧帽弁疾患に合併する慢性心房細動に対して手術中に256チャンネル3次元ダイナミックマッピングシステムを用いて心房細動中の心房興奮伝播を分析した<sup>16)</sup>。図1に示した如く、左房に生じる巣状興奮に加え、右房の巣状興奮やリエントリー、さらに両心房間の興奮干渉がその維持

表2 心房細動手術における将来の展望

1. 心房細動の電気生理学的機序解明
  - 電気生理学的に合理的な手術術式の開発
  - 心房細動の分類とそれに対応した術式の開発
  - マップガイド下手術の可能性
2. 手術の低侵襲化
  - 切開再縫合に代わる焼灼デバイスの開発
  - 人工心肺非使用下心房細動手術の確立
  - 鏡視下手術、ロボット手術

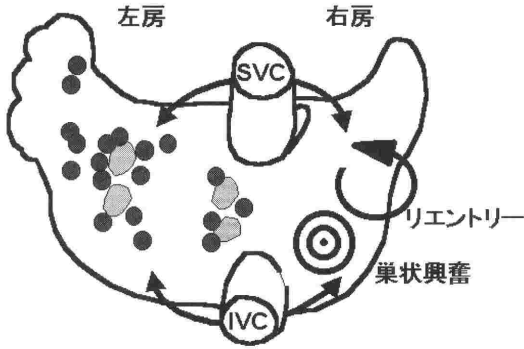


図1 僧帽弁疾患に合併する心房細動の心房興奮パターン  
 シェーマは背面より観察した両心房を示す。左房では、左心耳や肺静脈から出現する巣状興奮（小円で示す）が認められ、リエントリーは見られなかった。右房では、側壁に生じる巣状興奮や心房リエントリーも見られたが、左房からの受動的興奮も多く見られた。左右の心房興奮波は、パッハマン束と冠静脈洞あるいは心房中隔を介して対側心房へ伝播していた。

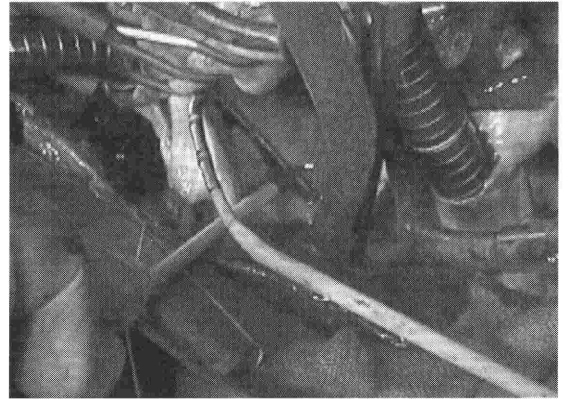


図2 外科用高周波アブレーションプローブを用いた肺静脈開口部焼灼

肺静脈周囲の左房後壁を円周状に焼灼し、すべての肺静脈を左房より電気的に隔離する。焼灼しようとする心内膜面の曲面に合わせてプローブ先端の形態を変えられる。1回の焼灼で比較的長い距離の線状焼灼が可能である。

に関係していた。左房の基本的な興奮パターンは全例で巣状興奮であったが、一部の例では右房から伝播する受動的興奮も混在していた。巣状興奮の多くは、左心耳、左房側壁、肺静脈周囲の左房後壁から発生していたが、必ずしも規則的な興奮ではなかった。右房では右房側壁に生じる巣状興奮と左房からの受動的興奮と右房リエントリーの3種が同程度に見られ、これらが混在する例もあった。右房リエントリーは非常に複雑な興奮パターンを呈し、興奮波が周期毎に場所と大きさを変え、癒合、分裂、消滅を繰り返し、遅延伝導を伴いながら旋回していた。近年、発作性心房細動の一部では、左房後壁、特に肺静脈内から出現する異常な反復性興奮が心房細動の発生のトリガーになっていることが明らかになった。前述した如く、僧帽弁疾患に合併した慢性心房細動においてもほぼ全例において、肺静脈内から出現する巣状興奮が心房細動の維持に大きく関与し、症例によっては右房の巣状興奮あるいはリエントリーも関係している可能性が示唆された。さらに心房間の興奮干渉が各心房の興奮をさらに複雑にしていると考えられた。したがって、一部の症例では肺静脈周囲の左房後壁を円周上に切開あるいは焼灼してすべての肺静脈を左房から電気的に隔離するだけで心房細動が停止する可能性もあり、マッピ

ング所見に基づいて右房切開の必要性を判断することが可能と考えられた。今後は、心房細動の興奮伝播過程のより正確な解析が可能となるようにマッピングシステムに改良を加えるだけでなく、他の手段をも駆使して、各々の症例における心房細動の電気生理学的機序と substrate の局在の正確な診断と時間普遍性の立証が必須である。

弁膜症に合併した心房細動に対する手術では、人工心肺使用、心停止下に心房細動手術と弁手術の両方を行う必要がある。現在は心停止状態にて心房細動手術を行っているが、心拍動下に術中マッピングを行い、各心房切開線の心房細動維持に対する効果を確認しながら手術を行うことができればより合理的な手術が可能となる。一方、器質的心疾患を伴わない孤立性心房細動に対する心房細動手術では人工心肺非使用手術が理想である。体外循環を用いずに行う心房細動手術はいくつかの手法が試みられている。Lee<sup>17)</sup>は、マットレス縫合で出血を防止した上で電気メス切開を用いて体外循環非使用下に心房切開する方法を考案した。心房壁を直接切開再縫合するため、確実に切開線による伝導ブロックが得られるものの手技が煩雑である欠点がある。心房筋を切開、再縫合して伝導ブロックを形成する代わりに、手術時間の短縮と出血の軽減を目的として凍結凝固あるい

は高周波アブレーションプローブにて心房を線状焼灼する方法がすでに臨床応用されている (図2)。Coxら<sup>18)</sup>は凍結凝固を多用してより小さい皮膚切開と少ない心房切開で maze 手術原法と同様の効果を得ようと試みている。また, Pasicら<sup>19)</sup>は術中に高周波エネルギーを用いて心房に線状焼灼を行っており, 体外循環非使用下での応用も期待される。高周波アブレーションは, 内科領域においてすでに経験が蓄積されており, 凍結凝固に比べて1回の焼灼でより長い線状切開線が得られることから手術時間の短縮につながるなどの利点があり, 人工心肺非使用下心房細動手術における有用なデバイスと期待されている。ただし, 人工心肺非使用下に凍結凝固あるいは高周波エネルギーを用いて心房に線状切開線を作成するには, 心外膜面からの焼灼では心房内の血流により焼灼の効果が損失され, 心内膜側では不十分な焼灼となることが知られている。したがって, 全長にわたって貫壁性の線状切開線を得るには種々の工夫が必要である。

現在の心房細動手術は他の心臓手術と比較して手技的に難度が高く, 器質的心疾患を伴わない孤立性心房細動に対しても人工心肺の使用が不可欠である。高周波エネルギーなどを応用して, 心房を直接切開せずに伝導ブロックを作成するための基礎研究が現在広く行われている。将来はロボット手術を導入し, 術中マッピングを併用しつつ, 人工心肺非使用下で, しかも100%の成功が得られるような外科治療が可能であろう。

## 文 献

- 1) Kawaguchi AT, Kosakai Y, Isobe F, et al : Factors affecting rhythm after the maze procedure for atrial fibrillation. *Circulation* 94 (9 Suppl) : II 139-142, 1996
- 2) Isobe F, Kawashima Y : The outcome and indications of the Cox maze III procedure for chronic atrial fibrillation with mitral valve disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 116 : 220-227, 1998
- 3) Cox JL, Ad N, Palazola T : Impact of the Maze procedure on the stroke rate in patients with atrial fibrillation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 118 : 833-840, 1999
- 4) Kosakai Y, Kawaguchi AT, Isobe F, et al : Modified maze procedure for patients with atrial fibrillation undergoing simultaneous open heart surgery. *Circulation* 92(9 Suppl) : II 359-364, 1995
- 5) Sueda T, Nagata H, Shikata H, et al : Simple left atrial procedure for chronic atrial fibrillation associated with mitral valve disease. *Ann Thorac Surg* 62 : 1796-1800, 1996
- 6) Nitta T, Ishii Y, Ogasawara H, et al : Initial experience with the radial incision approach for atrial fibrillation. *Ann Thorac Surg* 68 : 805-810, 1999
- 7) McCarthy PM, Gillinov AM, Castle L, et al : The Cox-Maze procedure: the Cleveland Clinic experience. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 12 : 25-29, 2000
- 8) Feinberg MS, Waggoner AD, Kater KM, et al : Restoration of atrial function after the Maze procedure for patients with atrial fibrillation. Assessment by Doppler echocardiography. *Circulation* 90 (Suppl. II) : 285-292, 1994
- 9) Nitta T, Lee R, Schuessler RB, et al : Radial approach: A new concept in surgery for atrial fibrillation. I. Concept, anatomical and physiological bases, and development of a procedure. *Ann Thorac Surg* 67 : 27-35, 1999
- 10) Ishii Y, Nitta T, Fujii M, et al : Serial change in the atrial transport function after the radial incision approach. *Ann Thorac Surg* 71 : 572-576, 2001
- 11) Isobe F, Kumano H, Ishikawa T, et al : A new procedure for chronic atrial fibrillation: bilateral appendage-preserving maze procedure. *Ann Thorac Surg* 72 : 1473-1478, 2001
- 12) Hart RG, Halperin JL : Atrial fibrillation and stroke. Concept and controversies. *Stroke* 32 : 803-808, 2001
- 13) Risk factors for stroke and efficacy of antithrombotic therapy in atrial fibrillation. Analysis of pooled data from five randomized controlled trials. *Arch Intern Med* 154 : 1449-1457, 1994
- 14) Bando K, Kobayashi J, Kosakai Y, et al : Impact of the Cox maze procedure on the outcome in patients with atrial fibrillation and mitral valve disease. Presented at the 81st annual meeting of the American Association for Thoracic Surgery 2001.5 (abstract).
- 15) 循環器病の診断と治療に関するガイドライン (1999-2000年度合同研究班報告) 不整脈の非薬物治療ガイドライン *Jpn Circ J* 65 (Suppl. V) : 1127-1175, 2001
- 16) Nitta T, Sakamoto S, Saji Y, et al : Focal activation underlying permanent atrial fibrillation in patients with mitral valve disease. *Circulation* 102 (Suppl II) : 483, 2000 (Abstract).
- 17) Lee R, Nitta T, Schuessler RB, et al : The closed heart maze: A nonbypass surgical technique. *Ann Thorac Surg* 67 : 1696-1701, 1999
- 18) Cox JL, Ad N : New surgical and catheter-based modifications of the Maze procedure. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 12 : 68-73, 2000
- 19) Pasic M, Bergs P, Müller P, et al : Intraoperative radiofrequency maze ablation for atrial fibrillation: the Berlin modification. *Ann Thorac Surg* 72 : 1484-1491, 2001