

綜 説

低侵襲循環器治療の進歩

大 橋 伸 朗

信州大学医学部外科学教室心臓血管外科学分野

Advances in Minimally Invasive Cardiovascular Treatment

Noburo OHASHI

Division of Cardiovascular Surgery, Department of Surgery, Shinshu University School of Medicine

Key words: minimally invasive cardiovascular treatment, heart valve disease, left atrial appendage closure
低侵襲循環器治療, 心臓弁膜症, 左心耳閉鎖

I はじめに

近年, 循環器領域において, 治療侵襲の軽減を目的とした低侵襲循環器治療の重要性が高まりつつある。

血管内治療の進歩は, 開胸や人工心肺装着といった侵襲性を回避することで, これまで治療の適応からはずれてきた超高齢者や全身状態不良患者にも治療の可能性を拓いた。

また, 内視鏡支援, ロボット支援, 完全内視鏡下手術の発達は, 従来心臓手術の主流であった胸骨正中切開アプローチに対し, 右側小開胸や部分胸骨切開などの小切開アプローチの適応範囲を広げ, その応用が益々進んでいる (minimally invasive cardiac surgery: MICS)。小切開アプローチは, 胸骨正中切開による術後の創部感染や疼痛, 回復遅延, さらに美容面における問題を回避し, 入院期間の短縮や術後 ADL 維持に寄与する。

今回, 当院で行われている低侵襲循環器治療について述べる。

II 低侵襲循環器治療の発展

A 大動脈弁疾患に対する低侵襲治療

1 経カテーテル大動脈弁植込み術 (transcatheter aortic valve implantation: TAVI)

高齢化社会の到来とともに大動脈弁狭窄症が増加し

てきているが, 超高齢者など開胸下での外科的大動脈弁置換術 (surgical aortic valve replacement: SAVR) がハイリスクと判断されるような症例に対して, 急速に普及している。

主に大腿動脈からのアプローチで行われる血管内治療であり, 局所麻酔下, 穿刺での手術が可能である。現在では閉塞性動脈硬化症の合併などで大腿動脈がアプローチに使用できない場合でも, 心尖部, 上行大動脈, 鎖骨下動脈, 頸動脈などを利用して TAVI が可能となった。

導入当初, TAVI の適応は外科手術が不可能な患者, もしくは高リスク患者が対象であったが, 近年中等度の外科周術期リスクに対する TAVI と SAVR のランダム化比較試験 (RCT) が複数発表された。経大腿アプローチを使用した TAVI は SAVR に比べ死亡, 脳梗塞ともに有意に低かった¹⁾²⁾とされる。これらの複数の RCT の結果に基づき, 現在中等度リスク患者に対する TAVI は AHA/ACC ガイドラインにおいてクラス II a³⁾, ESC/EACTS ガイドラインにおいてクラス I の推奨となっている⁴⁾。

本邦のガイドラインでは高齢, フレイル, 解剖学的特徴, 併存疾患, 同時に必要な手技を考慮し, さらに個々の患者の価値観や希望も加味した上で, チームで十分に議論を経て決定されるべきであるとされている⁵⁾。

本邦の成績は, 30日死亡率2%以下と海外とくらべも良好である⁶⁾⁷⁾が, 弁の耐久性については議論の余地がある。10年以上の良好な耐久性が示されている⁸⁾ SAVR 弁に対し, TAVI 弁では10年以上のデータについては未だ乏しい。この観点から現時点では若年者

Corresponding author: 大橋伸朗 〒390-8621

松本市旭3-1-1 信州大学医学部外科学教室

心臓血管外科学分野

E-mail: noburou@shinshu-u.ac.jp

にまで TAVI の適応を拡げるべきではないとする考え方が一般的である。明確な年齢基準は決定されていないが、優先的に考慮する年齢の目安として、80歳以上は TAVI、75歳未満は SAVR と設定されている⁷⁾。

また、TAVI は SAVR よりも伝導障害をきたしやすく、ペースメーカー留置率が高いとされ、適応を決める際に考慮すべき点である⁹⁾。

2 小切開による大動脈弁置換術 (MICS-AVR)

近年、高齢者大動脈弁手術の増加に伴い、これまで以上に早期離床が望まれるようになってきた。

MICS-AVR は右側開胸による小切開アプローチで行うため胸骨の動揺や離開といった胸骨正中切開に伴う課題が回避され、術後早期離床効果があるとされる。右第2肋間または第3肋間前側方においた3～8cm程度の皮膚切開から上行大動脈に到達する。大腿動静脈から送血管、脱血管を挿入して人工心肺を確立し、心停止下に胸腔鏡補助下で弁置換を行う。

前述した TAVI では、固定の不安定性、逆流制御の不確実性から大動脈弁閉鎖不全症に対しては適応外であるが、MICS-AVR は閉鎖不全症にも行うことが可能である。

近年 sutureless valve (図1) の登場により、MICS-AVR の普及が加速した。sutureless valve では、弁輪に縫合糸をかけ人工弁のカフに通し結紮する一連の手技が不要であり、それにより大動脈遮断時間の短縮が可能である。視野が限定される MICS や、大動脈遮断時間が長時間となる合併手術や再手術においてその効果が期待される¹⁰⁾。

当院では2020年より MICS-AVR が導入されている。現在では単独大動脈弁置換術の50 %が MICS で行われている。今後、更に MICS の割合が増えることが予想される。

B 僧帽弁疾患に対する低侵襲治療

1 経皮的カテーテル僧帽弁修復術

僧帽弁閉鎖不全症の治療の第一選択は外科手術だが、手術不能または手術リスクの高い僧帽弁閉鎖不全症患者への治療として開発された治療法が、経皮的カテーテル僧帽弁修復術である。現在もっとも普及しているのが MitraClip[®]による経皮的カテーテル僧帽弁修復術である。

大腿静脈から心房中隔穿刺で左心房へアプローチし、カテーテルのセンターにあるクリップで僧帽弁の前尖と後尖をつまんで (edge-to-edge repair) 逆流を軽減するシステムであり (図2)、開胸や人工心肺を必要としない。しかし、弁尖をクリップするだけでは逆流を完全に消滅させることは困難であり、多くの場合は逆流量の軽減を目的としている。また、僧帽弁の解剖学的な制限で不適応となる場合もある。

2 小切開による僧帽弁形成術/置換術 (MICS-MVP/MVR)

僧帽弁形成術 (MVP) では自己の僧帽弁構造が一

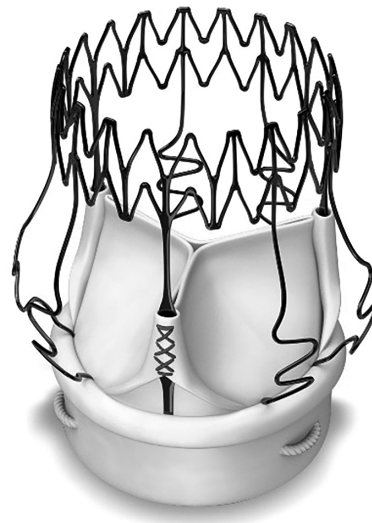


図1 Sutureless Valve : Perceval[®]

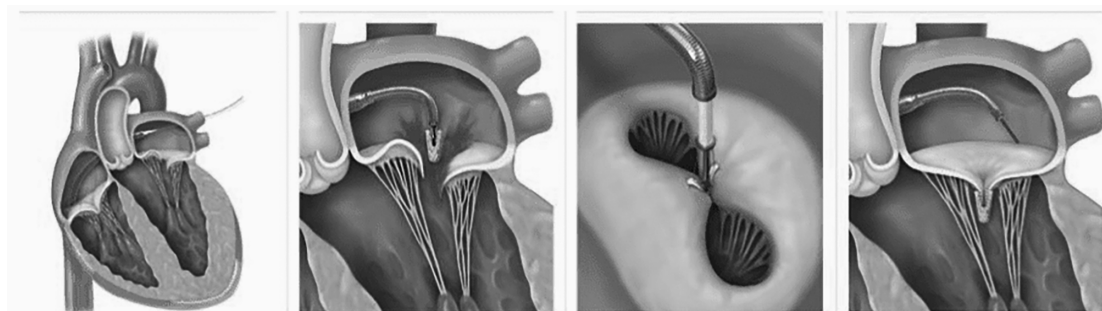


図2 MitraClip[®]による僧帽弁形成術のイメージ



図3 術野の様子（左）、術後の創部（右）

体として温存されるため、人工弁置換術に比して左室機能が良好に維持される。さらに抗凝固療法やその他の人工弁に関連した合併症（血栓塞栓症、弁機能不全、人工弁感染症など）を回避できるため、術後遠隔期の生存率が良好である¹¹⁾¹²⁾。したがって、弁形成が可能であれば形成術が第一選択となり^{12)~14)}、形成術が困難な場合は人工弁置換術が選択される。2016年の日本胸部外科学会の学術調査結果では、僧帽弁単独手術の約7割に形成術が行われており、術後30日死亡率は形成術が1.0%，弁置換が4.2%であった¹⁵⁾。

近年の僧帽弁形成術の普及と技術向上および良好な治療成績を反映し、最近のガイドラインでは無症候性の僧帽弁逸脱による重症僧帽弁閉鎖不全症に対しより積極的に形成術を行う方向となってきた⁷⁾。

一方、僧帽弁置換術の主な対象は、形成術が技術的に困難な症例や僧帽弁狭窄症である。リウマチ性僧帽弁狭窄症の発生率は先進国においては大幅に減少している。一方で、高齢者や透析患者では弁輪石灰化などの変性による僧帽弁狭窄症が近年増加している。

このような僧帽弁疾患に対して、大動脈弁と同様、右側開胸による小切開アプローチが可能である。右第4肋間または第5肋間前側方においた3～8cm程度の皮膚切開から心臓に到達する（図3）。大腿動静脈から送血管、脱血管を挿入し、内視鏡補助下に僧帽弁手術を行う。当院ではMICSによる単独僧帽弁手術は55%に及んでいる。今後は3D内視鏡を使用した完全内視鏡下での手術や、ロボット支援下の手術が増えていくことが予想される。

弁膜症に対する外科的治療は、低侵襲化が最も進んでいる分野の一つである。正中切開でのアプローチと比較して、侵襲を抑えつつ安全かつ良好な手術成績を

得られることが複数の研究で示されており、今後も更に低侵襲化が進むと予想される。一方で、従来の術式と比較して、術野の制限、視認性の問題、体外循環や麻酔管理の難易度の高さといった技術的課題も抱えている。そのため、安全な導入には熟練した術者と多職種によるチーム医療、十分なトレーニングと設備の整備が不可欠である。

C その他の低侵襲手術

1 経皮的左心耳閉鎖術

心房細動の患者において心原性脳梗塞を生じさせる血栓の90%以上が左心耳から発生している¹⁶⁾とされる。経皮的左心耳閉鎖術は、左心耳をWATCHMANTMというデバイスを用いて閉鎖し、血栓形成を予防し脳梗塞のリスクを減らす治療である。全身麻酔で右大腿静脈を穿刺し経心房中隔で左房にアプローチしWATCHMANTMを留置する（図4）。

慢性心房細動では心原性脳梗塞予防のため一般的に抗凝固療法が行われるが、抗凝固療法は出血性合併症のリスクとなる。WATCHMANTMを用いた左心耳閉鎖術における無作為化試験において、ワルファリンに比較し有意な塞栓および出血予防、死亡率改善効果を示している¹⁷⁾。

なおWATCHMANTMを用いた左心耳閉鎖術では、内膜被覆するまで数か月かかるため、その間は表面に付着する血栓症（device related thrombosis DRT）を生じないように抗血栓療法の継続をする必要がある。

2 胸腔鏡下心房細動手術（Wolf-Ohtsuka：WO法）

完全胸腔鏡下で外科的に左心耳を切除する方法にWolf-Ohtsuka法がある¹⁸⁾。手術は全身麻酔下に行われる。左右の胸腔それぞれに5～10mmのポートを4か所ずつ挿入し、開胸することなく完全胸腔鏡下で体

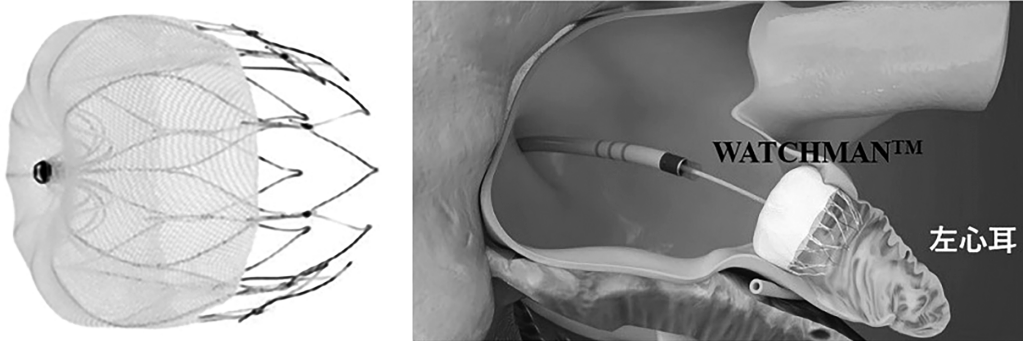
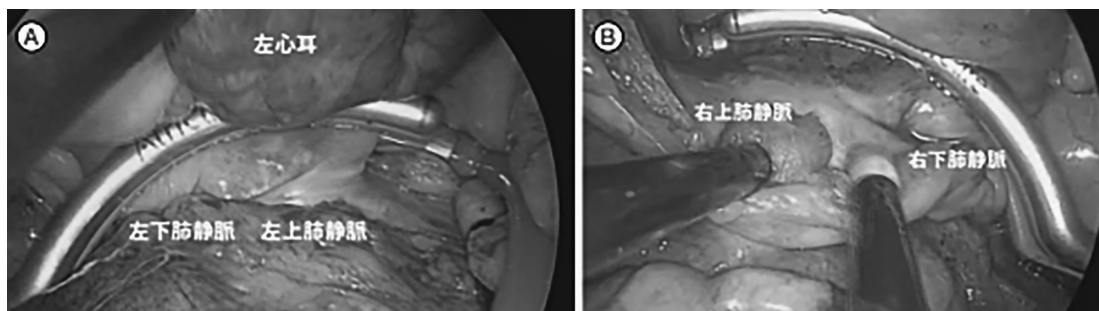


図4 WATCHMAN™による左心耳閉鎖



左心耳閉鎖デバイスである AtriClip™ を用いた左心耳閉鎖術。



高周波アブレーションシステム（Atri Cure RF アブレーションシステム®）を用いた両側（A：左 B：右）の肺静脈隔離。

図5 Wolf-Ohtsuka 法による左心耳閉鎖と肺静脈隔離

外循環も使用せず行われる。AtriClip™（AtriCure 社）などを用いて左心耳を閉鎖する。左心耳閉鎖のみであれば30分程度で行われる。

非弁膜症性心房細動への左心耳閉鎖の第一選択は、前述の WATCHMAN™ デバイスである。しかし、左心耳の形態や大きさにより、WATCHMAN™ 不適の場合は WO 法を適応としている。

WO 法は、左心耳閉鎖と外科的アブレーションを同

時に行うことも可能である。アブレーションと左心耳閉鎖を行うのを W-O I 法、左心耳閉鎖のみ行うのを W-O II 法と称する。アブレーションは、胸腔鏡手術下で高周波アブレーションシステム（Atri Cure RF アブレーションシステム®；AtriCure 社）を用いて外科的肺動脈隔離術を行う（図5）。手術時間は、左心耳閉鎖と外科的肺動脈隔離術で1時間半～2時間程度である。

Ⅲ おわりに

低侵襲循環器治療は、高齢化社会における新たな治療選択肢として急速に発展している。TAVI, MICS-AVR, MitraClip, MICS-MVP/MVR, WATCHMAN™, WO 法はいずれも従来術式に比して侵襲を軽減し、

安全かつ良好な成績が報告されている。一方で、デバイス耐久性、伝導障害、術野制限、管理の難易度といった課題も残されており、安全な普及には熟練した術者、チーム医療、教育体制の整備が不可欠である。今後、さらなる技術革新と臨床データの蓄積により標準治療としての地位を確立していくことが期待される。

文 献

- 1) Leon MB, Smith CR, Mack MJ, et al: PARTNER 2 Investigators. Transcatheter or Surgical Aortic-Valve Replacement in Intermediate-Risk Patients. *N Engl J Med* 374: 1609-1620, 2016
- 2) Thourani VH, Kodali S, Makkar RR, et al: Transcatheter aortic valve replacement versus surgical valve replacement in intermediate-risk patients: a propensity score analysis. *Lancet* 387: 2218-2225, 2016
- 3) Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, et al: 2017 AHA/ACC Focused Update of the 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 70: 252-289, 2017
- 4) Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al: 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. The Task Force for the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J* 38: 2739-2791, 2017
- 5) 2020年改訂版 弁膜症治療のガイドライン JCS/JATS/JSVS/JSCS 2020 Guideline on the Management of Valvular Heart Disease
- 6) Handa N, Kumamaru H, Torikai K, et al: Japanese TAVR Registry Participants. Learning Curve for Transcatheter Aortic Valve Implantation Under a Controlled Introduction System-Initial Analysis of a Japanese Nationwide Registry. *Circ J* 82: 1951-1958, 2018
- 7) Yamamoto M, Watanabe Y, Tada N, et al: OCEAN-TAVI investigators. Transcatheter aortic valve replacement outcomes in Japan: Optimized Catheter aortic valve intervention (OCEAN) Japanese multicenter registry. *Cardiovasc Res* 20: 843-851, 2019
- 8) Bourguignon T, Bouquiaux-Stablo AL, Candolfi P, et al: Very longterm outcomes of the Carpentier-Edwards Perimount valve in aortic position. *Ann Thorac Surg* 99: 831-837, 2015
- 9) Popma JJ, Deeb GM, Yakubov SJ, et al: Evolut Low Risk Trial Investigators. Transcatheter Aortic-Valve Replacement with a Self-Expanding Valve in Low-Risk Patients. *N Engl J Med* 380: 1706-1717, 2019
- 10) 大動脈弁疾患に対する外科的治療の現況 5. 低侵襲手術および Sutureless valve について. *日外会誌* 122: 462-467, 2021
- 11) Mohty D, Orszulak TA, Schaff HV, et al: Very long-term survival and durability of mitral valve repair for mitral valve prolapse. *Circulation* 104: I1-I7, 2001
- 12) Lazam S, Vanoverschelde JL, Tribouilloy C, et al: MIDA (Mitral Regurgitation International Database) Investigators. Twenty-Year Outcome After Mitral Repair Versus Replacement for Severe Degenerative Mitral Regurgitation: Analysis of a Large, Prospective, Multicenter, International Registry. *Circulation* 135: 410-422, 2017
- 13) Okada Y, Nasu M, Koyama T, et al: Outcomes of mitral valve repair for bileaflet prolapse. *J Thorac Cardiovasc Surg* 143: S21-S23, 2012
- 14) Gillinov AM, Blackstone EH, Alaulaqi A, et al: Outcomes after repair of the anterior mitral leaflet for degenerative disease. *Ann Thorac Surg* 86: 708-717, 2008
- 15) Committee for Scientific Affairs, The Japanese Association for Thoracic Surgery. Shimizu H, Endo S, Natsugoe S, et al: Thoracic and cardiovascular surgery in Japan in 2016: Annual report by The Japanese Association for Thoracic Surgery. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 67: 377-411, 2019

- 16) Blackshear JL Odell JA : Appendage obliteration to reduce stroke in cardiac surgical patients with atrial fibrillation. Ann Thorac Surg : 61 : 755-759, 1996
- 17) 山脇理弘, 酒井 毅, 笠井陽介 : 非弁膜症性心房細動における脳塞栓予防デバイス : 経皮的左心耳閉鎖システム (WATCHMANTM). 心臓 54 : 1345-1350, 2022
- 18) 伊藤博史 : ウルフォーオツカ法による心房細動治療への挑戦. 医学のあゆみ 292 : 909-914, 2015

(R 7. 9. 8 受稿)
