

特集 麻酔科学の領域の広がり

先天性心疾患の麻酔

—小児心臓カテーテル・成人先天性心疾患の麻酔—

昭和大学病院附属東病院

大江 克憲

はじめに

当院では2018年の1月に小児循環器・成人先天性心疾患センターが開設され、先天性心疾患患者の診療に関わる機会が増加している。本稿では先天性心疾患に対して施行される心臓カテーテル検査・治療と成人先天性心疾患の麻酔について概説する。

小児心臓カテーテル検査・治療の麻酔

小児心臓カテーテル検査は先天性心疾患手術の術前評価、手術適応や術式決定そして術後評価や経過観察など診断学的に重要な役割を果たしてきた。近年はAmplatzer閉塞栓による経皮的心房中隔閉鎖術などのカテーテル治療技術の向上やMRIを筆頭とする画像診断装置の発展で、診断だけが目的のカテーテルの必要性が低減し、心臓カテーテルに占める治療カテーテルの割合とその複雑度が増している¹⁾。

また外科手術後の遺残症や続発症に対するカテーテル治療や外科手術とカテーテル治療を併せたハイブリッド治療の有用性などから、心臓カテーテルによる先天性心疾患の治療の重要度は高まっている。

小児心臓カテーテルの麻酔管理

成人の心臓カテーテルは局所麻酔下に施行されることがほとんどであるが、小児心臓カテーテルは通常、深鎮静か全身麻酔下に行われる。当院では複雑心奇形症例も多く、カテーテル治療が施行される割合も高いことからほぼすべての症例を麻酔科医が全身麻酔下に管理している。図1に昭和大学で施行された小児心臓カテーテル数の変遷を示す。カテーテルの総数は徐々に増加しており、治療カテーテルの割合も50%程度まで増加している。日本小児循環器学会所属施設に対して行われた心臓カテーテル検

査・インターベンションの鎮静に関する全国調査²⁾によると、対象の60施設における年間のカテーテル件数は9,942件で、治療カテーテルは30%で行われていた。全症例の50%が小児科医による深鎮静で管理されており、麻酔科医が全身麻酔または深鎮静で管理した件数は37%で、残りの13%は局所麻酔か小児科医による全身麻酔であった。麻酔科医が管理した割合を施設種類別で見ると、大学・専門病院27%、小児病院57%、一般病院24%と施設別で有意差があったと報告されている(図2)。本邦では小児心臓カテーテルの管理は小児病院を除いては主に小児科医によって行われているのが現状である。

全身麻酔で管理をする第一の利点は、患者を検査や治療の侵襲から守り、恐怖や痛みなどの不快な記憶を残さずに、患者の安全を担保できることである。麻酔科医は病態生理や治療の目的をすべて理解したうえで、予測される循環動態の変動に備えることが重要である。カテーテル操作による呼吸や循環の変動に麻酔科医が即座に対応することにより術者に安全な環境を提供し、安心して最大のパフォーマンス

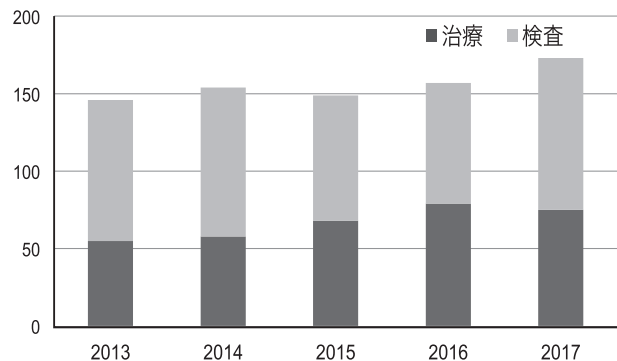


図1 小児心臓カテーテル件数の年次推移

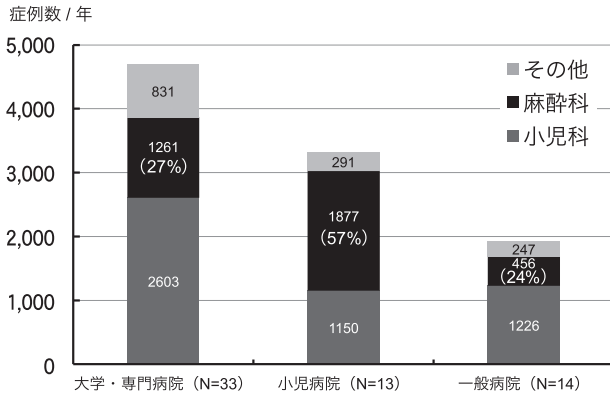


図 2 年間心臓カテーテル件数と全身麻酔または深鎮静を行なう診療科 (文献 2 より引用・改変)

ンスを発揮してもらうことがひいては患者の利益に寄与することになる。手術室で行われる外科手術では当たり前となっているコラボレーションであるが、内科領域の侵襲的治療においては麻酔科医のマンパワー不足や保険適応の制限等からまだまだ一般的ではない。内科領域でも麻酔科医が治療の質の向上に寄与できることは少なくないと考えられる。

小児心臓カテーテルの有害事象

複雑な解剖や多様な血行動態を有する先天性心疾患患者の麻酔は高い専門性が要求され、手術室から離れた環境での管理にはさまざまな制約もあって、IVR 室 (Interventional Radiology : IVR) における心臓カテーテルの麻酔管理は難易度が高い。

ボストン小児病院の約 7,300 例を対象とした調査では、心臓カテーテル中の心停止の発生率は 100 症例あたり 0.96 (99% CI, 0.7 ~ 1.3) と報告されている³⁾。また、麻酔に起因する心停止の発生率は、一般の小児麻酔と比べて心臓カテーテルの麻酔では 1.2 ~ 8.7 倍高いとされている^{3, 4)}。

The Congenital Cardiac Catheterization Project on Outcome (C3PO) のデータベースを用いた 8,900 例を対象とする調査では、命に危険の及ぶ有害事象は 2.1% (95% CI, 1.8 ~ 2.4), 死亡率は 0.28% (95% CI, 0.18 ~ 0.41) と報告されており、これらの偶発症は 25% が不整脈, 24% が心臓または血管の損傷, 20% が血行動態不良, 13% が器具・コイル・他の技術的問題, 8% が空気塞栓, 肺水腫による神経学的合併症, 0.5% が穿刺部位に関連するとされる⁵⁾。

2 万例近くの先天性心疾患を対象として行われた

カテーテル検査・治療の調査 (IMPACT スタディー)⁶⁾によると 65% で治療カテーテルが施行されており、死亡を除く高度の有害事象 (永久または一時的ペースメーカーが必要, 心停止, ドレナージを要するタンポナーデ, 72 時間以内の塞栓性脳卒中, カテーテル合併症による予定外の手術) は検査カテーテルの 1.4%, 治療カテーテルで 1.2% に生じていたと報告されている。高度の有害事象は新生児で優位に発生し (検査 4.7%, 治療 4.2%), 乳児 (検査 2.1%, 治療 1.9%) や小児 (検査 0.7%, 治療 0.8%) では減少した。有害事象の発生は、治療と検査カテーテル間で差はなかったが、新生児での発生率が有意に高く、年齢で差が生じた結果となっている。

日本麻酔科学会による 2009 年から 2011 年の麻酔偶発症調査⁷⁾では偶発症 (心停止, 高度低血圧, 高度低酸素血症, 高度不整脈) の発生率は 0.12% である。麻酔科学会の調査は新生児から成人までのすべての手術が対象で、心臓カテーテルだけを対象とする調査とは単純には比較できないが、これと比べると報告されている小児心臓カテーテルにおける高度有害事象の発生率は極めて高いと言える。小児心臓カテーテルの麻酔管理はハイリスクであると認識しておく必要がある。

Bergersen らは有害事象の発生を予測するため、種々のカテーテル手技を 4 つのリスクカテゴリーに分類し (表 1)⁸⁾、これに年齢と血行動態不良を示唆するパラメーターの有無を加えて有害事象の発生率を予測できるリスク評価を確立した⁹⁾ (図 3)⁸⁾。このリスク評価などを参考にして有害事象を予測し、有害事象の発生にそなえて準備を怠らないことが大切である。

Odegard らは心臓麻酔科医がカテーテル室での治療と運営に関わることで心肺蘇生の率が低下したことを示した³⁾。今後はカテーテル室でも手術室と同様に麻酔科医の役割が重要になると考えられる。

小児心臓カテーテルの全身麻酔

小児の先天性心疾患患者がカテーテル検査、治療を受ける際の麻酔と鎮静に関して、心臓血管 (SCAI), 先天性心疾患 (CCAS), そして小児麻酔 (SPA) の 3 学会が共同声明を発表している¹⁰⁾。ここでは先天性心疾患の心臓カテーテルの麻酔には他に優ると推奨できる特別な方法はないが、先天性心疾患患者の病態生理とリスク、全身麻酔や鎮静が循

表 1 カテーテル手技リスクカテゴリー分類 (文献 8 より引用)

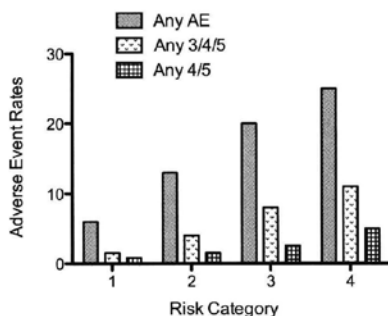
	リスクカテゴリー 1	リスクカテゴリー 2	リスクカテゴリー 3	リスクカテゴリー 4
診断カテーテル	年齢 ≥ 1 歳	1 か月 ≤ 年齢 < 1 歳	年齢 < 1 か月	
弁形成		・肺動脈弁かつ年齢 > 1 か月	・大動脈弁かつ年齢 ≥ 1 か月 ・肺動脈弁かつ年齢 < 1 か月 ・三尖弁	・僧帽弁 ・大動脈弁かつ年齢 < 1 か月
デバイス / コイル塞栓	・静脈側副血行路 ・左上大静脈	・動脈管 ・心房中隔欠損もしくは卵円孔開存 ・フォンタン開窓 ・体肺動脈側副血行路	・体循環手術後短絡 ・バップルリーク ・冠瘦孔	・心房中隔欠損 ・弁周囲遺残逆流
バルーン血管形成		・右室流出路 ・大動脈拡張 < 8 気圧	・肺動脈 < 4 か所 ・肺動脈 ≥ 4 か所かつすべて < 8 気圧 ・大動脈拡張 > 8 気圧もしくはカッティングバルーン ・体動脈 (非大動脈) ・体循環手術後短絡 ・体肺循環側副血行路 ・体静脈	・肺動脈 ≥ 4 か所 ・肺静脈
デバイス留置		・体静脈	・右室流出路 ・大動脈 ・体動脈 (非大動脈)	・心室中隔 ・肺動脈 ・肺静脈 ・体循環手術後短絡 ・体肺循環側副血行路
ステント再拡張		・右室流出路 ・心房中隔 ・大動脈 ・体動脈 (非大動脈) ・体静脈	・肺動脈 ・肺静脈	・心室中隔
その他	・心筋生検	・異物捕捉 ・心房中隔穿刺	・心房中隔開窓 ・ステント内再開通 ・閉塞血管再疎通	・心房中隔拡張およびステント留置 ・外科手術後 4 日以内のすべてのカテーテル手技 ・閉鎖弁穿孔

環動態に及ぼす影響を理解しておかねばならないとしている。

多くの異なる麻酔薬の組み合わせが人工呼吸下あるいは自発呼吸下の管理で報告されて来たが、優位性を示す薬剤や呼吸方法のエビデンスは得られていない¹⁾。

筋弛緩薬投与により調節呼吸が必要になると陽圧換気が肺血管抵抗に影響し、心臓カテーテルの検査結果が自発呼吸時とは異なる可能性が生じることから、心臓カテーテルの麻酔は軽度鎮静下に自発呼吸を温存する方法を選択する施設も少なくない。しか

し、新生児や肺血流量が著明に増加して肺のコンプライアンスが低下しているような患児では適度な鎮静下に確実に気道確保し、さらに自発呼吸により十分な換気量を保つことは臨床上難しく、肺胞低換気から CO₂ の貯留をきたし酸素化が低下する。低換気・低酸素と人工呼吸の陽圧換気のどちらが肺血管抵抗に及ぼす影響が小さく、より生理的な状態に近いのかは不明である。さらに最近では検査と同時にカテーテル治療が行われることも多いことから、当院では全症例で気管挿管による全身麻酔を選択している (表 2)¹⁾。



	Any level 3/4/5 AE		
	OR	95% CI	p value
Risk category			
2	2.0	1.0-3.8	0.04
3	4.9	2.7-9.0	<0.001
4	4.8	2.5-9.2	<0.001
Hemodynamic variables, n			
1	1.8	1.2-2.8	0.01
≥2	2.0	1.2-3.3	0.008
age<1y	1.5	1.0-2.2	0.05

図3 カテーテル手技有害事象発生リスク評価 (文献8より引用)

AE: adverse event, 3/4/5: 重症AE, 4/5: 致命的AE

Hemodynamic variables: (1) EDP ≥ 181 mmHg, (2) SaO₂ < 95% (非単心室) or < 78% (単心室), (3) SvO₂ < 60% (非単心室) or < 50% (単心室), (4) sPAP ≥ 45 mmHg (非単心室) or mPAP ≥ 17 mmHg (単心室)

カテーテルからの血液検体採取や圧測定時は日常生活時の生理的な状態にできる限り近くなるようFIO₂を0.21(低酸素が懸念される場合は0.3程度), PaCO₂(E_TCO₂を指標に調節)は40 mmHgとしPEEPは使用していない。検査開始までに呼吸循環動態を安定させ、検査中に血行動態や換気条件が大きく変動しないように管理し、測定値への影響が最小限になるように留意する。

当院における全身麻酔の実際

モニタリングは心電図, 非観血的動脈圧, 動脈血酸素飽和度(上下肢の2か所), カプノグラフィ, 呼気ガス濃度, 深部体温(直腸または咽頭温)を標準とし, 心機能低下症例, 高度の肺高血圧症例, 高度の侵襲を伴うと予想される治療症例では観血的動脈圧もモニタする。

当院はIVR室が手術室から離れており, 麻酔科医のマンパワー不足もあって全例入室前の病棟での末梢静脈ライン確保を小児科医に依頼している。前投薬は原則として6か月以下の症例とダウン症の児には使用していない。それ以外はジアゼパム0.5 mg/kg(最大量10 mg)を適宜内服させる。入室時に啼泣し不安が強い場合はミダゾラムを0.1~0.2 mg/kg程度静脈内投与する。

麻酔の導入はミダゾラム0.1~0.2 mg/kg, フェンタニル2~4 μg/kgに適宜セボフルランの吸入

を加えて行い, ロクロニウム1 mg/kg投与後に気管挿管する。導入時の吸入酸素濃度とマスクによる肺胞換気量は病態に応じて決定する。肺血流量(肺体血流比)の評価が難しい場合はFIO₂0.4~0.6程度で開始し, 血圧と酸素飽和度を見ながら増減する。気管挿管後はFIO₂を0.21, PaCO₂40 mmHgを目標として換気設定を調節する。シース留置部位(多くは鼠径部)に局所麻酔をすることで麻酔の維持はセボフルラン1.5~2%とフェンタニルの間欠投与で十分なことが多い。体動防止のためにロクロニウムを間欠的に投与する。

ほとんどの症例で検査後カテーテル室での抜管が可能であるが, 抜管が難しく気管挿管のままICUに帰室となることをまれに経験する。ICUスタッフと密に連絡を取ることが重要であり, すべての症例で, 抜管せずにICUで人工呼吸管理となる可能性があることを術前に家族に説明しておく。

成人先天性心疾患

近年, 循環器領域の一分野として成人先天性心疾患(Adult Congenital Heart Disease: ACHD)が注目されている。昭和大学でも2018年1月に, 横浜市北部病院から小児先天性心疾患の診療チームが本院に移設するに際して, 小児循環器・成人先天性心疾患センターが開設され, 胎児から成人となった

表 2 心臓カテーテル 麻酔法の比較 (文献 11 より引用・改変)

	利点	欠点
全身麻酔	<ul style="list-style-type: none"> ・気道のトラブルが少ない. ・体動の危険性がない. ・pH や PaCO₂ の調節が容易である. ・検査環境に再現性がある. 	<ul style="list-style-type: none"> ・陽圧換気により肺血管抵抗が影響を受ける可能性がある. ・麻酔薬による循環変動の可能性がある.
鎮静	<ul style="list-style-type: none"> ・挿管を回避できる. ・陽圧換気を回避できる. 	<ul style="list-style-type: none"> ・気道のトラブルの危険性がある. ・咳や体動, 誤嚥の危険性がある. ・酸素投与が必要な場合がある. ・pH や PaCO₂ の調節が困難である.

先天性心疾患患者までの診療体制が整えられた.

先天性心疾患の発生頻度は生産児の約 1% であるが, 現在日本の出生数は 100 万人程度であるため, 先天性心疾患をもって出生する児は毎年 1 万人前後と推定される¹²⁾. 先天性心疾患に対する術式の改良と周術期医療の進歩により, 先天性心疾患術後の患者の 85 ~ 90% 以上が成人を迎えるようになった¹³⁾. 1967 年は先天性心疾患患者の総数が 16 万人程度で, 成人の占める割合は全体の 3 分の 1 であったが, 1997 年には成人と小児が双方約 30 万人とほぼ同数となった. 2007 年には ACHD は 40 万人に達し¹⁴⁾ (図 4), 現在は 50 万人近くの患者がいるとされる¹²⁾. 今後 ACHD の患者は約 5%/ 年の割合で増加すると予想され, 2020 年には成人が小児患者を大きく上回ると予測されている¹⁵⁾.

小児期に順調に経過した先天性心疾患患者も成人期に入り年齢を重ねると, 遺残症や続発症のために新たなさまざまな問題を有するようになり¹⁶⁾ (表 3), 遺残症や続発症に対する手術が必要となって来る. また, 心臓以外の疾患に対する手術が施行されることも少なくない. これまで先天性心疾患は小児の病気と認識されており, 小児病院や大学病院, 一部の専門病院を除いて一般の麻酔科医が先天性心疾患の周術期診療に関与する機会は多くなかった. しかし, ACHD 患者の著増に伴い, 一般病院でも麻酔を担当する機会が増加すると予想され, ACHD に関する基本的な知識を身につけておくことが求められる.

Fallot 四徴症

成人期に問題となる先天性心疾患には多数の疾患があるが, ここではチアノーゼ疾患の中で最も頻度

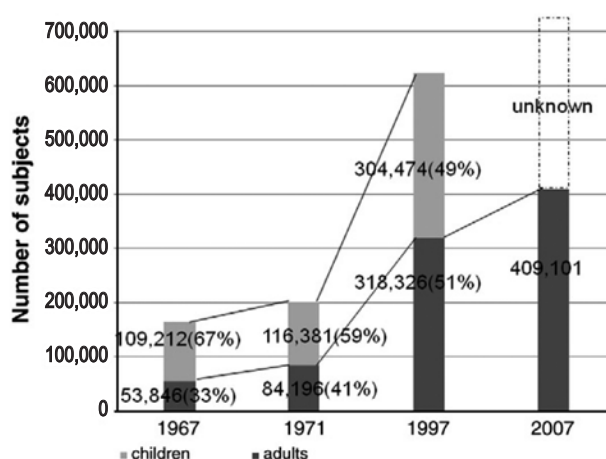


図 4 成人および小児先天性心疾患患者数の推移 (文献 14 より引用)

の高い Fallot 四徴症 (TOF) について述べる.

TOF は, 肺動脈狭窄 (漏斗部狭窄), 心室中隔欠損, 大動脈右室騎乗, 右室肥大を四徴とする. その他に肺動脈弁の狭窄, 肺血流低下と肺動脈の低形成, 低肺血流による左室発育不全・左室拡張末期容積の低下などを特徴とする. 手術では心室中隔欠損の閉鎖と右室流出路の再建を行う¹⁵⁾. 現在は TOF 患者のほとんどが 1 歳までに心内修復術を施行され¹⁷⁾, 早期の手術成績は死亡率が 2 ~ 3% 以下で, 手術後の 20 年生存率は 90 ~ 98% と良好である¹⁸⁾.

先天性心疾患手術の急性期の成績が大きく向上したことにより, 手術で救命された患者の術後遠隔期の成績に関心が移っている. 術前からあった異常が手術により軽減するものの術後にも残存してしまう遺残症や, 術前にはなかった異常が新たに生じる続発症への対応が重要性を増している. 中等症以上の

表 3 成人期に問題となる主な先天性心疾患（文献 16 より引用）

心房中隔欠損	右心不全，三尖弁閉鎖不全，僧帽弁閉鎖不全，肺高血圧（Eisenmenger 症候群），心房頻拍，心房細動
心室中隔欠損 （大動脈弁下型）	大動脈弁尖の逸脱による大動脈弁閉鎖不全，Valsalva 洞破裂
Fallot 四徴症（術後）	肺動脈弁閉鎖不全による右室拡大および右心不全，心房頻拍，心室頻拍，心室細動，左心不全，大動脈弁輪拡大，大動脈弁閉鎖不全
大動脈縮窄術後	縮窄遺残による高血圧，縮窄遺残のみられない症例での（運動時）高血圧
完全大血管転位	1. 心房内血流転換術（Mustard 手術，Senning 手術）後の三尖弁（体心室房室弁）閉鎖不全，右心（体心室）不全 2. 大血管転換術後の末梢性肺動脈狭窄，大動脈弁輪拡大，大動脈弁閉鎖不全，冠血流障害
修正大血管転位	1. Conventional repair 後の三尖弁（体心室房室弁）閉鎖不全，右心（体心室）不全，心房頻拍，心房細動粗動 2. Double switch 術後の心房頻拍
Ebstein 病	（WPW 症候群による）心房頻拍，右心不全，右心室の著しい拡大による左心不全，心室頻拍
単心室疾患（単心室，三尖弁閉鎖，肺動脈閉鎖，左心低形成，内臓錯位症候群など）の Glenn 手術および Fontan 手術後	房室弁閉鎖不全，右心（体心室）不全，うっ血肝，肝硬変，蛋白漏出性胃腸症，腹水貯留，耐糖能異常，静脈血栓，肺塞栓，静脈シャント，肺動脈シャント，胸水貯留，心房頻拍，心室頻拍，同機能不全，房室ブロック

先天性心疾患手術は決して“根治手術”ではなく，術後に遺残症や続発症を伴い，生涯にわたる定期的フォローを必要とする。

TOF では心内修復術後も右室流出路狭窄が遺残し，肺動脈切開や肺動脈弁輪拡大によって術後新たに肺動脈逆流などが続発する症例も少なくない。TOF 修復術後の遠隔期の問題点を表に示す¹⁹⁾（表 4）。

術後の予後は良好と考えられてきた TOF とその類縁疾患において右室の流出路狭窄の残存よりも肺動脈弁逆流（pulmonary regurgitation : PR）が術後遠隔期の合併症に大きく関与することが明らかとなり^{20, 21)}，現在の小児期の修復術では，極力肺動脈弁輪を温存し，狭窄が残存しても逆流を最小限にとどめる手術が主流となっている。

PR を有する患者は長期にわたり無症状であるが，PR の重症度が増すと徐々に運動耐容能が低下する。PR や右室流出路狭窄（right ventricular outflow tract stenosis : RVOTS）は進行性の右室拡大，右室の繊維化，両心不全をもたらし，40 歳までに 50% 以上の患者でこれらに起因する症状が出現

表 4 Fallot 四徴症根治術後遠隔期の問題点と原因（文献 17 より引用）

1) 右心室の拡張・機能低下 右室切開や筋切除部の癒痕，パッチ，右心室瘤
2) 左心室の拡張・機能低下 大動脈基部の拡大による大動脈弁逆流
3) 肺動脈弁逆流 手術，右室拡張，弁の劣化
4) 肺動脈弁狭窄，右室流出路狭窄 弁の劣化，線維性肥厚
5) 遺残狭窄あるいは再発
6) 三尖弁逆流 右室拡張による弁輪拡大，腱索断裂，弁尖の変性
7) 不整脈 右室切開，心筋切除，右室拡張，三尖弁逆流による右房拡大

し²²⁾、心室性頻拍とそれによる突然死という経過をたどる場合もある²³⁾。

再手術

PR に対する肺動脈弁置換術は、症状を軽減し右室サイズを正常化、右室機能を改善することが示されているが、手術によって心室頻拍の危険性と突然死のリスクが減少するのかは明らかではなく、再手術の適応や時期に関しても議論のあるところである¹⁹⁾。

ACC/AHA のガイドラインでは、重度の PR と①から③のいずれか（①中等度から重度の右心機能不全、②中等度から重度の右心室の拡張、③症候性または持続性の上室性心室性不整脈の発症かつ中程度から重度の TR）が存在する場合には PVR は reasonable であるとされている²⁴⁾。日本の ACHD の診療ガイドラインでは、進行性か症状を伴う高度の右室拡大や右室機能低下を伴った PR が適応とされており、適切な時期に PVR を確実に防止することが肝要とされている¹²⁾。

再手術は肺動脈弁置換術（pulmonary valve replacement : PVR）や右室流出路修復（right ventricular outflow tract reconstruction : RVOTR）が行われる。成人期では、右心系に用いられた生体弁は長期の耐久性をもつことが期待でき、抗凝固療法が不要なことから、生体弁を用いた肺動脈弁置換が推奨される¹²⁾。本邦では未承認であるが、北米と欧州を中心に臨床使用が認可されている経皮的肺動脈弁置換術（percutaneous pulmonary valve implantation; PPVI）が導入されれば、重要な選択肢となりうることが期待される。

術前評価

ACHD は多くの構造異常を有し、構造異常の組み合わせも複雑であることから症例毎にきめ細やかな術前評価を行う必要がある。成人心臓手術時の一般的な評価に加えて、TOF の再手術の術前評価では MRI、CT、心臓カテーテル検査、心エコーなどを施行し循環動態を正確に把握することが重要である。TOF 修復術後の経過観察には非侵襲的な心エコー検査が第一に行われてきた。しかし、術後の複雑な形態のために心エコーで右室の容量や機能を評価するのは困難である。心臓 MRI は両心室の容積や機能評価の標準検査法となり、TOF 修復術後患者の PR の重症度と右室拡大の程度を長期的に評価するうえで信頼できる方法となってきた¹⁹⁾。手術の

適応や至適な時期を決定する際にも MRI は必須の検査となりつつあるが、今後は麻酔管理においても術前の MRI による評価がより有用な情報になると予想される。

術中管理

麻酔方法は一つの方法が他に勝るエビデンスを有する特別な方法はなく、通常通りの慣れた方法で良い。静脈麻酔薬（プロポフォール、ミダゾラム、フェンタニル、レミフェンタニルなど）で導入し、全静脈麻酔 TIVA や吸入麻酔薬を用いたバランス麻酔で維持する。何を使用するかより、どのように投与するかの方が重要となることが多い。一度に高容量の麻酔薬を投与することは避け、滴定投与（titration）を心がけることが大切である。当院の成人症例ではミダゾラム 0.02～0.04 mg/kg 程度とフェンタニル 3～5 μg/kg またはレミフェンタニル 0.3 μg/kg/min 程度で導入を開始し BIS 値を参考にしながら 2～3% 程度までのセボフルランを加えて、ロクロニウム 1 mg/kg を投与後に気管挿管することが多い。麻酔導入時の麻酔薬による体血管抵抗低下と心抑制、人工呼吸による胸腔内圧と肺血管抵抗の上昇による右心不全の増悪の可能性などを念頭に置き、慎重に麻酔薬を titration するとともに、緊急時用のアドレナリンとノルアドレナリン（それぞれ 5 μg/ml と 50 μg/ml のもの）を前もって準備している。

麻酔の維持は、人工心肺前はセボフルランを用い、人工心肺後は回路内へのミダゾラム投与かプロポフォールの標的濃度調節持続静注法（target controlled infusion : TCI）で行う。レミフェンタニルを持続投与し人工心肺離脱後、止血操作終了時ごろからフェンタニルを間欠的に投与している。

モニタリングは標準的なモニタに加え観血的動脈圧（橈骨動脈と大腿動脈の 2 か所）、中心静脈圧、内頸静脈酸素飽和度、経食道エコー、脳波（BIS または PSI）、近赤外線分光法による脳組織飽和度、中枢温（直腸または膀胱）、末梢温（足背）を使用する。手術既往が複数回ある再手術であり、癒着が高度である場合も少なくないため、胸骨正中切開時や癒着剥離部位からの出血に備えて十分な輸液路を確保し、血液製剤も十分量準備する。また開胸までの急変に備え除細動用のパッドをあらかじめ貼付しておくことも忘れてはならない。

人工心肺からの離脱はミルリノン 0.1 ~ 0.2 µg/kg/min を中心に行い、必要に応じてノルアドレナリンかドパミンを低用量で併用している。右心機能低下症例ではニトログリセリンの併用も考慮し、必要であればNOの吸入もためらわない。

患者の状態、手術の状態によって術後の鎮静を考慮する。術者とよく相談の上決定する。当院ではフェンタニルの持続投与にデクスメドミジンカブプロポフォルを併用することが多い。

成人先天性心疾患の診療には多職種によるチーム医療が必要とされる。小児先天性心疾患や成人後天性心臓疾患の周術期管理で培ってきた知識と経験をフルに活用して、成人先天性心疾患患者の周術期診療においてもチームの一員として麻酔科医が貢献できることは多いと考える。

文 献

- 1) Taylor KL, Laussen PC. Anaesthesia outside of the operating room: the paediatric cardiac catheterization laboratory. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2015;28:453-457.
- 2) 三浦 大, 賀藤 均, 土井庄三郎, ほか. 日本小児循環器学会所属施設における心臓カテーテル検査・インターベンションの深鎮静に関する全国調査. 日小循誌. 2014;30:580-587.
- 3) Odegard KC, Bergersen L, Thiagarajan R, *et al.* The frequency of cardiac arrests in patients with congenital heart disease undergoing cardiac catheterization. *Anesth Analg.* 2014;118:175-182.
- 4) Bennett D, Marcus RJ, Stokes M. Incidents and complications during pediatric cardiac catheterization. *Paediatr Anaesth.* 2005;15:1083-1088.
- 5) Lin CH, Heade S, Marshall AC, *et al.* Incidence and management of life-threatening adverse events during cardiac catheterization for congenital heart disease. *Paediatr Cardiol.* 2014;35:140-148.
- 6) Vincent RN, Moore J, Beekman RH, *et al.* Procedural characteristics and adverse events in diagnostic and interventional catheterisations in paediatric and adult CHD: initial report from the IMPACT Registry. *Cardiol Young.* 2016;26:70-78.
- 7) 日本麻酔科学会安全委員会 偶発症例 (肺塞栓) WG. 偶発症調査 2009 ~ 2011 : 危機的偶発症に関する粗集計結果. (2018年12月7日アクセス) <https://nsas.anesth.or.jp/App/Datura/pdf/r20100301.pdf>
- 8) 黒川 智. カテーテル手術の外科と麻酔 安全な低侵襲手術の確立を目指して 小児心臓カテーテル治療 麻酔科医の視点から. 日臨麻会誌. 2015;35:622-630.
- 9) Bergersen L, Gauvreau K, Marshall A, *et al.* Procedure-type risk categories for pediatric and congenital cardiac catheterization. *Circ Cardiovasc Interv.* 2011;4:188-194.
- 10) Odegard KC, Vincent R, Baijal R, *et al.* SCAI/CCAS/SPA expert consensus statement for anesthesia and sedation practice: recommendations for patients undergoing diagnostic and therapeutic procedures in the pediatric and congenital cardiac catheterization laboratory. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2016;88:912-922.
- 11) 岩崎達雄. 小児心臓麻酔マニュアル. 改訂版. 心臓カテーテル検査の麻酔. 東京: Medical Front International Limited; 2017. pp89-92.
- 12) 市田 露子, 赤木 禎治, 池田 智明, ほか. 成人先天性心疾患診療ガイドライン. 2017年改訂版. (2018年11月15日アクセス) http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2017_ichida_h.pdf
- 13) 丹羽公一郎. 日本における成人先天性心疾患患者の現状 遠隔期合併症と診療体制について. *LiSA.* 2016;23:410-413.
- 14) Shiina Y, Toyoda T, Kawasoe Y, *et al.* Prevalence of adult patients with congenital heart disease in Japan. *Int J Cardiol.* 2011;146:13-16.
- 15) 丹羽公一郎. 成人先天性心疾患の現状と今後の方向性. *Cardiovasc Anesth.* 2014;18:1-8.
- 16) 白石 公. 成人期を迎えた先天性心疾患患者の諸問題. 京府医大誌. 2010;119:247-259.
- 17) Al Habib HF, Jacobs JP, Mavroudis C, *et al.* Contemporary patterns of management of tetralogy of Fallot: data from the Society of Thoracic Surgeons Database. *Ann Thorac Surg.* 2010;90:819-820.
- 18) Tatewaki H, Shiose A. Pulmonary valve replacement after repaired Tetralogy of Fallot. *Gen Thorac Cardiovasc Surg.* 2018;66:509-515.
- 19) 黒江 泰利, 杉本 健太郎, 金澤 伴幸, ほか. 循環管理 成人期に達した先天性心疾患の周術期管理. ICUとCCU. 2017;41:235-242.
- 20) Gatzoulis MA, Balaji S, Webber SA, *et al.* Risk factors for arrhythmia and sudden cardiac death late after repair of tetralogy of Fallot: a multicentre study. *Lancet.* 2000;356:975-981.
- 21) Therrien J, Siu SC, McLaughlin PR, *et al.* Pulmonary valve replacement in adults late after repair of tetralogy of fallot: are we operating too late? *J Am Coll Cardiol.* 2000;36:1670-1675.
- 22) Hickey EJ, Veldtman G, Bradley TJ, *et al.* Late risk of outcomes for adults with repaired te-

- tralogy of Fallot from an inception cohort spanning four decades. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2009;35:156-164.
- 23) Nakazawa M, Shinohara T, Sasaki A, *et al.* Arrhythmias late after repair of tetralogy of fallot: a Japanese Multicenter Study. *Circ J.* 2004;68:126-130.
- 24) Warnes CA, Williams RG, Bashore TM, *et al.* ACC/AHA 2008 Guidelines for the Management of Adults with Congenital Heart Disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing committee to develop guidelines on the management of adults with congenital heart disease). *Circulation.* 2008;118:714-833.