

— 綜 説 —

肺動脈絞扼術

～従来の適応から新しい適応まで～

佐々木 孝

日本医科大学心臓血管外科

Pulmonary Artery Banding

—Original, Current, and New Indications for Pulmonary Artery Banding—

Takashi Sasaki

Department of Cardiovascular Surgery, Nippon Medical School

Abstract

First performed in the early 1950s in children with a large left-to-right shunt or single ventricle and excessive pulmonary blood flow, pulmonary artery banding (PAB) is a palliative surgery designed to relieve symptoms. After advances in cardiopulmonary bypass techniques in the 1980s allowed surgeons to perform corrective surgery even in infants, PAB has continued to play a palliative role in balancing the pulmonary to systemic blood flow ratio in critical situations. PAB is also used to retrain the left ventricle in patients with transposition of the great arteries to prepare them for the arterial switch procedure, either following late presentation or following prior atrial repair. Another role played by PAB is to train the left ventricle in patients with congenitally corrected transposition of the great arteries, not only for the purpose of retraining the sub-pulmonary left ventricle but also as an early prophylactic approach in newborns to avoid the severe tricuspid regurgitation sometimes associated with a morphologic right ventricle in the systemic position. Currently, PAB has two indications: 1. to reduce the pulmonary blood flow and relieve the symptoms of congestive heart failure, and 2. to train the sub-pulmonary ventricle for future corrective surgery. Recently, PAB has been successfully employed to treat children with dilated cardiomyopathy (DCM), a disease that has shown considerably increased morbidity and mortality rates and indications for heart transplantation; some of the patients thus treated have shown improved left ventricular function, allowing them to be taken off the waiting list for heart transplantation. In this paper, we review the original and current indications for PAB and explain the surgical technique and strategy. We also present a literature review of the new indications for PAB in patients with pediatric DCM, and compare outcomes in Japan with those in other countries.

(日本医科大学医学会誌 2023; 19: 148–155)

Key words: pulmonary artery banding, congenital heart disease, dilated cardiomyopathy

Correspondence to Takashi Sasaki, Department of Cardiovascular Surgery, Nippon Medical School, 1-1-5 Sendagi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8603, Japan

E-mail: t-sasaki0@nms.ac.jp

Journal Website (<https://www.nms.ac.jp/sh/jmanms/>)

緒言

先天性心疾患 (congenital heart disease : CHD) は心臓発生過程で何らかの問題があり, ヒトの正常循環である“短絡のない2心房2心室直列循環”が確立できなかった状態である¹. 直列循環とは体循環と肺循環が連続したものをいう. CHDの多くは①接続の異常, ②中隔形成の異常, ③各構成要素の異常 (心室, 心房, 大血管, 弁などいずれの欠損を含む低形成や異形成など) のいずれか, もしくは組み合わせられた構造異常を伴っている¹.

CHDの外科治療の目標は, 左右短絡のない直列循環を目指すもので, これを修復術という. 修復術には“左右短絡のない2心房2心室直列循環”にする解剖学的修復術と, 全身から戻ってきた体静脈血を, 右心室を経由させずに肺循環を通過・ガス交換させて体心房に導き, 体心室から大動脈への拍出で全身に供給させる“左右短絡のない1心室直列循環”を作る機能的修復術 (Fontan型手術) がある¹.

一方, 修復術に備えて循環構成要素の条件を整える手術を, 準備手術もしくは姑息術という. 準備手術の中で最も汎用されているものが, 肺血流を調整する体肺動脈シャントと肺動脈絞扼術である. いずれも肺血流量を調整する手術で, 体肺動脈シャントは肺血流を増やし, 肺動脈絞扼術 (pulmonary artery banding : PAB) は肺血流を減らす手術である. 本綜説では, PABの始まった当初から現代までの適応を振り返り, さらに最近広がった新しい病態への適応を概説する.

PABはCHDに対する準備手術として, 体肺動脈シャントと並び代表的な術式である. BlalockとTaussigにより1945年に初めて体肺動脈シャントが臨床応用されたのに対し², PABは1951年にLos AngelesのMullerとDammannにより初めて行われた^{3,4}. 5カ月の乳児で, 巨大な心室中隔欠損 (ventricular septal defect : VSD) による著しい左右短絡とそれに伴う肺血流増加を来した症例に対し施行された. それ以降複数の研究で三尖弁閉鎖 (tricuspid atresia : TA), VSD, 房室中隔欠損 (atrioventricular septal defect : AVSD) などの疾患でうっ血性心不全を呈した患者に対するPABの有効性が報告された.

人工心肺や心筋保護の技術が進歩し, 新生児・乳児早期の修復術の成績が向上したため, PABを適用する頻度は減っているが, 現代においても一部の病態では臨床症状を改善させ, 次の修復術に向けて条件を整えるために必要な手技である⁵.

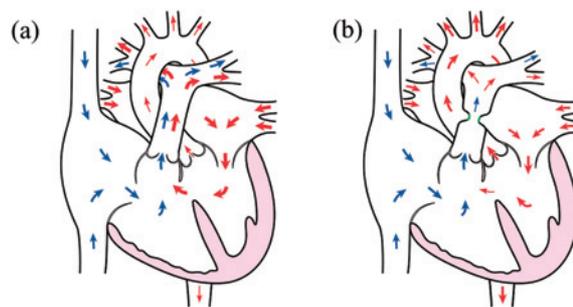


Fig. 1 (a) 心室中隔欠損の血行動態, (b) 肺動脈絞扼術後. 左右短絡は減じ, 肺血流が制限される.

従来から現代におけるPABの適応

現在の医療において, PABは心内シャント疾患で左右短絡から肺血流が増加した病態に対し, 肺血流を制限する目的と, 肺循環を担う心室の後負荷となり, 将来体循環を担う心室への準備としてのトレーニングの目的がある.

1. 肺血流の制限

左右短絡により肺血流増大から心不全を起こしうる病態に対して行う. 肺血流を減じ肺静脈から左房への還流量を減らすことで, 左心への容量負荷を軽減させる. また高肺血流に伴う肺高血圧は, 肺血流減少により肺動脈圧の低下を期待できる. 以上から心不全がコントロールされ, 安定した状態でその後の根治術を行うことが目的である. 以下に肺血流の制限を目的とするPABの対象疾患を説明する.

1-1. 心室中隔欠損 (ventricular septal defect : VSD) (Fig. 1)

VSDが複数あるもの, もしくは一つでも低体重や感染, 脳出血, 多臓器障害などの合併疾患のために人工心肺を用いた根治術が難しい場合にPABが行われる. 人工心肺は静脈血を脱血し, 体の外の人工肺でガス交換を行い, 動脈へ送血することで各臓器へ酸素化された血液を供給する装置である. 血液が生体にとって異物である人工肺や回路内のチューブを通過することから, 炎症反応が惹起されること, 回路内での血栓形成を予防するために, 抗凝固療法としてヘパリンの全身投与を必要とする. また心内を修復する際には心停止させるが, この間心筋保護の薬剤を冠動脈に投与するが, 心筋虚血時間が生じる. このように人工心肺を用いた根治術では, 生体にとって大きな侵襲が加わる. 特に新生児や乳児早期には人工心肺の影響を受け

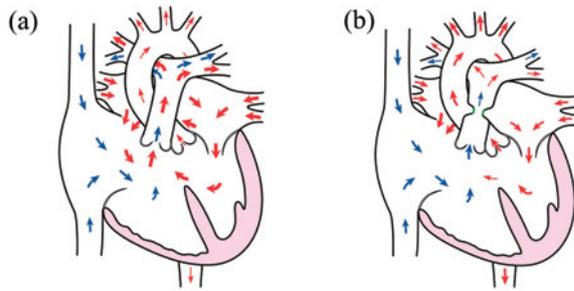


Fig. 2 (a) 完全型房室中隔欠損の血行動態, (b) 肺動脈絞扼術後. 心室レベルでの左右短絡を減じ, 肺血流が制限される.

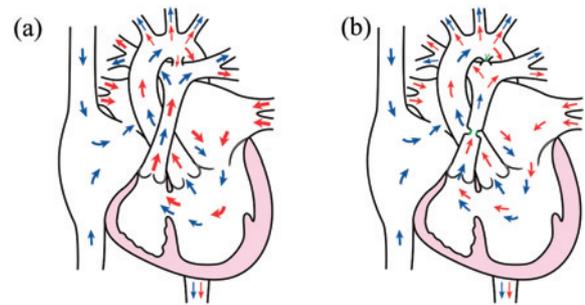


Fig. 3 (a) 肺血流増加型単心室症の血行動態, (b) 肺動脈絞扼術と動脈管結紮術後. 肺血流は制限され, 左房への還流量が制限される.

やすい. 本邦では 2012 から 2016 年に 4,947 例の VSD に対する外科治療が行われたが, そのうち PAB は 637 例 (12.9%) であった. PAB の 637 例のうち, 早産児が 30%, トリソミーなどの染色体異常が 43% を占めていた. VSD 全体での手術成績は死亡率 0.5% と極めて良好であるが, その中でも体重が 4.5 kg に満たない患者の根治術は, 主要な合併症や死亡率が高いことがわかった⁶. PAB を行い, 体格が大きくなるのを待ち修復術を行う二次的アプローチは, VSD の重症例に対していまだに有効な治療選択肢である.

著しい肺高血圧を伴った VSD に対する段階的アプローチ (treat and repair)

近年の肺高血圧症治療薬の進歩により, 以前は手術適応とみなされなかった肺血管抵抗が高い VSD 症例に抗肺高血圧療法を行い, 肺血管抵抗の低下や吸入酸素への反応を確認して VSD 閉鎖を行うという “treat and repair” という概念が出現した. VSD のような三尖弁より後に短絡のある疾患では, 抗肺高血圧療法により肺血管抵抗は下がるが, 同時に肺血流が増加するという矛盾が生じる. そこで抗肺高血圧療法に加えて PAB を行い, 肺血流を制限する治療が行われ始めた^{7,8}. VSD 閉鎖後は肺高血圧が改善し臨床症状の改善が得られており, 今後このような治療方針は増えていくであろう.

1-2. 房室中隔欠損 (atrioventricular septal defect : AVSD) (Fig. 2)

AVSD は心房中隔下位, 心室中隔の流入部, および房室弁の様々な程度の形成不全からなる疾患である. AVSD には左右の心室のバランスが不均衡 (unbalanced AVSD) で, 単心室修復を目指すものと, 左右心室のバランスが良く (balanced AVSD), 二心室修復を目指すものがある. 単心室を目指す群では, 肺血流を制限し肺血管を守ることから, それ以降の Fontan 循環が成立しやすくし, 二心室修復を目指す

群では, 高肺血流による心不全を防ぎ, 修復術のタイミングを遅らせる (その間に体の発育を期待する) ことが PAB の目的である⁹.

北米の多施設研究では, AVSD に対する PAB は特に新生児期に肺血流が増加するハイリスク症例に有効な手術であるとしている¹⁰.

1-3. 肺血流増加型の単心室症 (Fig. 3)

機能的単心室症の外科治療の目標は, 上・下大静脈の血流を, 心臓を介さずに肺動脈へ導き, 肺循環と体循環を完全に分離するというフォンタン術の完成である. 近年では段階的に, 上大静脈を肺動脈に吻合する両方向性グレン術を 3~6 カ月時に行い, 下大静脈を, 人工血管を介して肺動脈につなぐ total cavopulmonary connection (TCPC 術) を 1 歳以降に行うことが多い. フォンタン循環では, 静脈圧により肺動脈へ静脈血が流れるため, フォンタン循環を成立させるためには, 低い肺血管抵抗が求められる. 機能的単心室には大きくわけて肺血流が多い群, 適度にコントロールされている群, 少ない群に分けられる. 中でも肺血流が多い群は, 出生後生理的に肺血管抵抗が下がると, 高肺血流による心不全を来す. 房室弁逆流は増え, 肺血管は徐々に血管抵抗を増す. このような病態を避けるため, 肺血流増加型の単心室症には, 出生後早期に PAB を行うことが必要な場合が多い^{11,12}.

1-4. 左心低形成症候群 (hypoplastic left heart syndrome : HLHS) とその類縁疾患 (Fig. 4)

HLHS は大動脈弁閉鎖または高度の狭窄, 大動脈の低形成, および左室の低形成または欠損を伴う疾患群である. 小さな上行大動脈および弓部大動脈と大きな主肺動脈を合わせて一つの流出路を再建し, 肺血流路として体肺動脈シャントを作成する Norwood 手術を行い, 機能的単心室として Fontan 手術をめざす治療体系が確立している¹³.

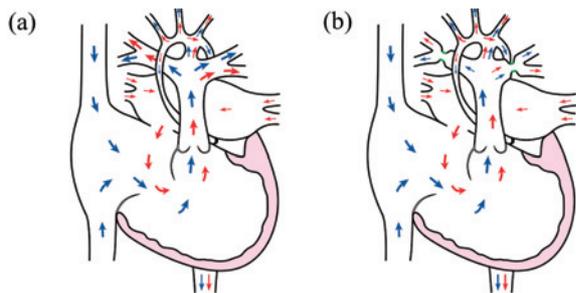


Fig. 4 (a) 左心低形成症候群の血行動態, (b) 両側肺動脈絞扼術後. 左右の肺血流は制限され, 代わりに動脈管を介した全身への血流が増える.

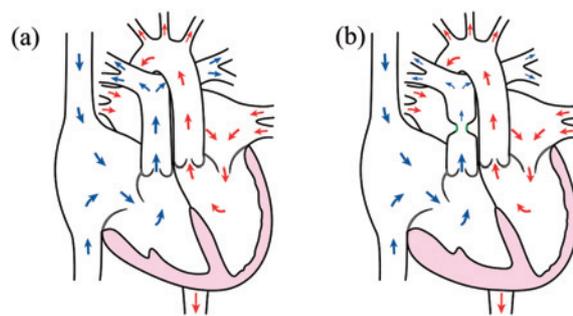


Fig. 6 (a) 修正大血管転位の血行動態. 右房→左室→肺動脈, 左房→右室→大動脈のように血流が流れる. (b) 将来の根治術(左室→大動脈, 右室→肺動脈への血流変換)前の左室トレーニング目的に, 肺動脈絞扼術を行う.

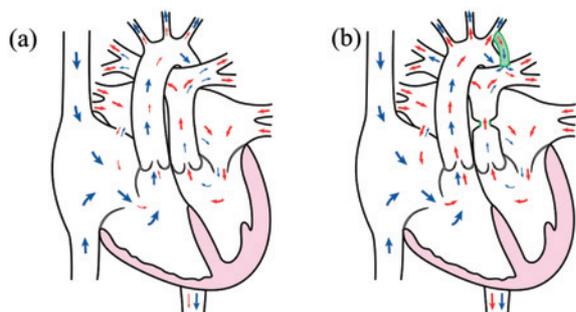


Fig. 5 (a) 完全大血管転位の血行動態. 右室から大動脈が起始し, 左室から肺動脈が起始する. 動静脈血は心房中隔欠損を介して混合する. (b) 肺動脈絞扼術と Blalock-Taussig シャント術施行後. 肺動脈の手前の左室に圧負荷がかかり, 左室心筋の増加を期待する. 肺血流が制限される分, Blalock-Taussig シャントで肺血流を補う.

新生児期の Norwood 手術の成績は改善してきているものの, いまだ手術死亡率の高い術式である. そこで Norwood 手術前に両側 PAB を行い, 動脈管開存はステント挿入か PGE1 製剤の点滴で維持するというハイブリッド治療が導入され, Norwood の手術時期を遅らせ, HLHS の救命率を向上させることに成功している. 両側 PAB は肺血流を制限することに寄与しており, 心室への圧負荷はない¹⁴⁻¹⁶.

2. 左室トレーニング

後負荷を増すことで, 低圧の肺循環を担う心室から, 高圧の体循環を担う心室へ準備する.

2-1. 完全大血管転位 (transposition of the great arteries : TGA) (Fig. 5)

TGA は右室から大動脈, 左室から肺動脈が起始している先天性心疾患 (congenital heart disease : CHD) で, すべての CHD の 5% を占める. 生直後か

ら低酸素血症を呈する. 卵円孔開存または動脈管開存以外の心奇形を伴わないものが 50%, VSD 合併が 40~45%, 左室流出路狭窄合併が 10~20% ある. 未治療では低酸素血症のため生後 1 カ月以内に 50%, 1 年以内に 90% 死亡する. 生存のために外科治療が必要である. 手術は左室流出路狭窄を伴わないものは生後 1~2 週で動脈スイッチ術 (arterial switch operation : ASO) (±VSD 閉鎖) を行う. 左室流出路狭窄を伴うものは, 狭窄の程度が適度であれば肺血流が制限されており, 乳児期以降まで経過観察できることがある.

本邦ではあまり見られなくなったが, 診断時期が遅れ生後 2 カ月を過ぎたもの, あるいは生後 2 カ月以内でも左室圧低下 (左室圧/右室圧 < 0.7) や左室後壁厚の菲薄化が疑われるものでは, 心臓カテーテル検査で左室機能を評価する. 左室機能低下があるものでは左室トレーニング手術として PAB と短絡手術を行い, 段階的に ASO を行う¹⁷.

2-2. 修正大血管転位 (congenitally corrected transposition of the great arteries : ccTGA) (Fig. 6)

ccTGA は房室関係が discordant (房室錯位), かつ心室大血管関係も discordant (大血管転位) となる疾患で, 静脈血は右房→形態的左室→肺動脈, 動脈血は左房→形態的右室→大動脈と流れ, 循環動的には修正されている. 歴史的には形態的右室を体心室として保存的に管理されてきたが, 経時的に房室ブロック, 三尖弁逆流 (tricuspid regurgitation : TR), 右室機能不全が出現することがわかってきた. 特に TR の増悪や右室機能不全を示す患者に対し, 解剖学的修復であるダブルスイッチ術 (double switch operation : DSO) の有用性が報告されている¹⁸⁻²⁰. DSO とは, ASO

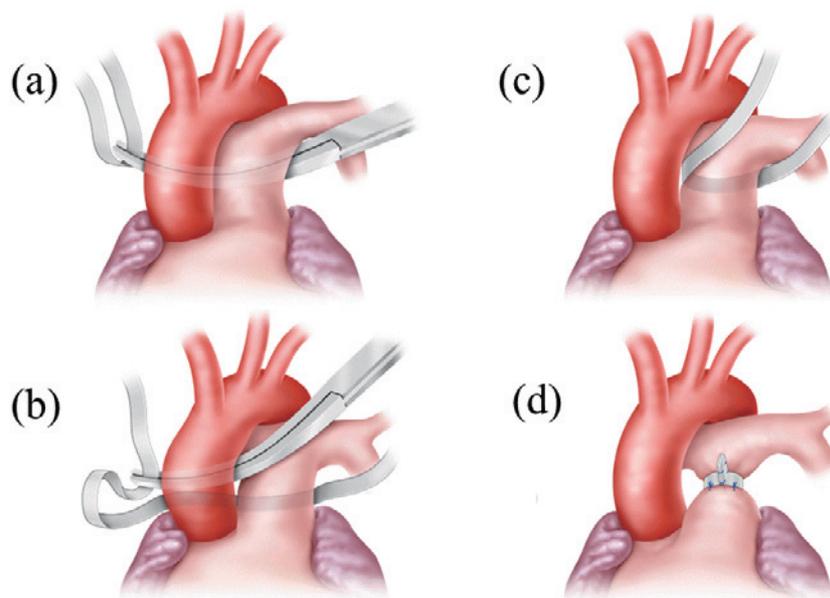


Fig. 7 (a) 上行大動脈と主肺動脈をまとめてテープを通し, (b) テープの大動脈側を上行大動脈—主肺動脈間に通すことで, (c) 主肺動脈にテープを回す (サブトラクション法). (d) 肺動脈を絞扼し, 末梢へ流れないように主肺動脈基部に固定する.

と心房スイッチを組み合わせたもので, 左室は体循環, 右室が肺循環を担う正常な循環に戻すことができる. 経年的に肺循環を担っていた左室は, 体循環を担うだけの力がなく, DSOの前にPABを行うことで左室をトレーニングする治療方針が知られている. 近年では新生児期にPABを行うことで, 右室機能不全に伴い起こりうるTRの出現を予防する治療も始まった²¹.

手術手技 (Fig. 7a~d)

1. テープの準備

筆者は0.6 mm厚の延伸ポリテトラフルオロエチレン製のシートを幅3 mmに切り出したテープを使用している. 根治術でPABを解除する時, 肺動脈から剥がれやすい. 絞扼の目安になるように, 何カ所か6-0モノフィラメント糸でマーキングする.

2. 胸骨正中切開でのPAB

次の修復術の際に癒着剥離が容易なように, 心膜を大血管レベルの上方のみ逆T字切開してPABを行う. 高肺血流で拡張し, 壁の薄い主肺動脈に直接テープを回すのは血管損傷のリスクも高いため, サブトラクション法を用いることがある. これは最初に大動脈と主肺動脈にまとめてテープを通し, 大動脈—主肺動脈間を剥離し, 直角鉗子を用いてテープを大動脈—肺

動脈間に誘導するものである. 動脈管は開存していても閉鎖していても, 将来再開通の恐れがありPABと同時に結紮する.

3. 側開胸によるPAB

左側開胸で行う. 動脈管の処理を同時に行うには, より高位の第3肋間でアプローチすると視野展開がしやすい. 大動脈縮窄を合併する場合は, 大動脈弓再建を併施する. 主肺動脈にテープを回す際に, テープが遠位にずれる (migration) ことを防ぐため, 剥離は最小限にとどめる. 左冠動脈主幹部が近いため, 直角鉗子で損傷しないように注意が必要である. 正中切開と違い左肺を圧排するため, 絞扼の調整に影響が出る可能性がある.

4. 絞扼の程度

血圧, 末梢肺動脈圧をモニタリングしながら, 患者の体重を用いてTruslerの基準²²である20 mm+1 mm/kgを目安にテープを絞扼する. 絞扼前に吸入酸素のFiO₂を0.6に設定する. 吸入酸素濃度は各施設で異なることが多い.

- (1) 肺動脈圧が体動脈圧の1/2以下
- (2) 平均肺動脈圧<25 mmHg
- (3) 徐脈や著しいSpO₂の低下なし

以上の条件を満たすようにPABを0.5~1 mmずつ調整する. 結果としてTruslerの基準よりきつくなる

Table 重症心不全に対する肺動脈絞扼術の成績

	Number of patients	Age at PAB (months)	Weight at PAB (kg)	Mechanical ventilation before PAB	LVEF (%)		Outcomes
					Before PAB	At follow-up	
Japan							
Mafune	1	7	5.1	0	14	20	On VAD 14 months after PAB
Asano	1	5	3.2	0	33	39	Recovery
Germany							
Schranz	12	8.3 (2.1 ~ 25.7)	5.8 (2.4 ~ 10)	5/12	14.5 ± 5.2	47 ± 11	Recovery : 10, Death : 2
Italy							
Di Candia	5	8.6 (3.9 ~ 42.2)	7.7 (4.8 ~ 12)	4/5	17.7 ± 8.5	63.3 ± 7.6	Recovery : 3, Transplant : 2
USA							
Spigel	14	5 (3.5 ~ 10)	6.8 (5.1 ~ 8.1)	9/11	21 (15 ~ 24)	Recovery : 55, Transplant : 20	Recovery : 4, Transplant : 8, Death : 2

PAB : pulmonary artery banding, LVEF : left ventricular ejection fraction, VAD : ventricular assist device

ことが多い。また機能的単心室ではその傾向が強い。

絞扼の調整ができたなら6-0モノフィラメント糸でテープが末梢側へmigrationしないように、主肺動脈基部の外膜に2カ所固定する。

手術成績

2017年の胸部外科学会の年次報告によると、PABは635例で施行され、病院死亡率は24例(3.8%)、bilateral PABは152例で施行され病院死亡率は29例(19.1%)であった²³。対象となる疾患は多岐にわたるが、低体重、感染等、人工心肺を使用する修復術を選択しにくい術前状態であり、修復術より死亡率が高い。

最近の新しい適応

重症心不全に対する肺動脈絞扼術

ドイツのSchranzらは心臓移植しか治療手段がない拡張型心筋症(dilated cardiomyopathy : DCM)の小児の重症心不全患者にPABを施行し、移植を避けることができた症例がいることを報告した。この治療のコンセプトは、先述したccTGAの右室機能不全に対するPABの有効性から応用されたものである。DCM症例において、PABにより右室の後負荷が増大し、心室中隔が著明に拡大した左室方向へ偏位する。この中隔が偏位することと、右室から肺動脈への心拍出量が減ずることとで左室容量は減じ、僧帽弁逆流も軽快し左室の機能回復を来すと考えられている。こ

の新しい治療法は2007年に初めて報告され、2013年にまとまった成績が報告された以降、広く知られるようになった²⁴⁻²⁶。

Schranzの小児DCM患者に対するPABの手術手技を以下に示す。

- (1) 胸骨正中切開でアプローチ
- (2) 脈拍数 : <145/分
- (3) 右房圧 : 5~12 mmHg
- (4) 動脈圧 : >70 mmHg (右室圧 <35 mmHg)
- (5) 動静脈酸素飽和度較差 : <30%
- (6) 経食道心臓超音波モニタリング : TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion), MR (mitral valve regurgitation), IVS (interventricular septal position)

以上のパラメーターを指標にPABの絞扼を調整し、結果として右室圧/動脈圧は0.6程度に到達する。

TableにDCMに対するPABの成績をまとめた。ドイツ²⁶、イタリア²⁷は一施設からの報告で、アメリカからは多施設共同研究として報告された²⁸。本邦からは2症例が報告されている^{29,30}。ドイツの成績。SchranzのGiessenでは、以前から重症先天性心疾患に対するハイブリッドアプローチが盛んであった。先に述べた左心低形成症候群やその類縁疾患に対する両側PABに加え、動脈管開存のためにPGE1製剤の持続点滴でなく、カテーテルでステント留置を行い、心房間交通が小さければバルーン裂開術を行うという手法である。イタリアからは5例の報告である。急性心筋炎が2例含まれており、それ以外の報告とは患者背景が異なる。急性心筋炎はECMOやVADにより急

性期を乗り越えれば予後の良いことが知られている。急性心筋炎に対しPABを行い、機械的補助循環が回避できれば、それも新しいPABの適応といえるであろう。米国の多施設共同研究では、ドイツ、イタリアの報告よりもPABの成績が不良であることが示されており、より重症患者が多い影響と考察されている。本邦からは症例報告が2例発表されている。1例はPAB後14カ月でExcorが導入され、最終的に心移植に到達した。Asanoらの報告では、PABの絞扼の程度を調節する際、局所酸素飽和度(rSO₂)を用いた。

いずれもVADや心移植しか選択肢のない重症左心不全に対してPABが行われたわけであるが、PABが著効したものの、VADや心移植の時期を遅らせることができたもの、効果がなかったものがあり、それらの違いが生じた要因を分析することが重要である。特にPABの時期、絞扼の程度には明確な基準がなく、臨床データを振り返るとともに、基礎研究による解析が必要である。

ccTGAの右室機能不全に対するPABやDCMに対するPABは、いずれも健常な(機能不全に陥っていない)心室の後負荷を増し、その効果が他方の心室におよぶ手技である(ccTGAでは左室、DCMでは右室)。これもventricular ventricular interaction(VVI)の一つであり、DCMに対するPABの効果の機序を解明する上で、研究の対象となる領域である。

最後に

肺動脈絞扼術の本来の適応から現代までの進歩、それから最近新たに導入された適応についてまとめた。外科の手技自体はシンプルであるが、そのタイミング、絞扼の程度、フォローアップの期間等、症例に応じた対応が必要である。また近年術後に調整可能なPABのデバイスも発明されており、PAB自体はより低侵襲な方法、胸骨正中切開ではなく、小切開による側開胸での手技等も進化していくことが予想される。

Conflict of Interest : 開示すべき利益相反はなし。

文献

1. 坂本喜三郎：先天性心疾患外科治療概論。新心臓血管外科テキスト。pp 280-290, 中外医学社。
2. Blalock A, Taussig H: The surgical treatment of malformations of the heart in which there is pulmonary atresia. *J Am Med Assoc* 1945; 128: 189-202.
3. Muller WH, Danimann JF: The treatment of certain

congenital malformations of the heart by the creation of pulmonic stenosis to reduce pulmonary hypertension and excessive pulmonary blood flow; a preliminary report. *Surg Gynecol Obstet* 1952; 95: 213-219.

4. Muller WH, Dammann JF: The surgical significance of pulmonary hypertension. *Ann Surg* 1952; 136: 495-509.
5. 落合由恵：体肺動脈シャント手術と肺動脈絞扼術。第50回日本心臓血管外科学会学術総会 卒後教育セミナーテキスト。pp 18-25.
6. Inohara T, Ichihara N, Kohsaka S, et al: The effect of body weight in infants undergoing ventricular septal defect closure: A report from the Nationwide Japanese Congenital Surgical Database. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2019; 157: 1132-1141.
7. Akagi S, Kasahara S, Sarashina T, et al: Treat-and-repair strategy is a feasible therapeutic choice in adult patients with severe pulmonary arterial hypertension associated with a ventricular septal defect: case series. *Eur Heart J Case Rep* 2018; 2: yty 033.
8. Kanai A, Koitabashi N, Akagi S, et al: A case of a middle-aged patient with a ventricular septal defect complicated by severe pulmonary hypertension-stepwise surgical repair with pulmonary vasodilators-. *J Cardiol Cases* 2021; 24: 131-135.
9. Buratto E, Khoo B, Ye XT, et al: Long-term outcome after pulmonary artery banding in children with atrioventricular septal defects. *Ann Thorac Surg* 2018; 106: 138-144.
10. Devlin PJ, Jegatheeswaran A, McCrindle BW, et al: Pulmonary artery banding in complete atrioventricular septal defect. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2020; 159: 1493-1503.
11. Alsoufi B, Manlhiot C, Ehrlich A, et al: Results of palliation with an initial pulmonary artery band in patients with single ventricle associated with unrestricted pulmonary blood flow. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2015; 149: 213-230.
12. Sasaki T, Asou T, Takeda Y, et al: Hybrid palliation for a neonate with functionally single ventricle and restrictive atrial septal defect: A case report. *Wor J Ped Congen Heart Surg* 2015; 6: 139-142.
13. 笠原真悟, 佐野俊二：左心低形成症候群。小児成育循環器学。pp 499-503, 診断と治療社。
14. Sasaki T, Takahashi Y, Ando M, et al: Bilateral pulmonary artery banding for hypoplastic left heart syndrome and related anomalies. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2008; 56: 158-162.
15. Gibbs JL, Wren C, Watterson KG, et al: Stenting of the arterial duct combined with banding of the pulmonary arteries and atrial septectomy or septostomy: a new approach to palliation for the hypoplastic left heart syndrome. *Br Heart J* 1993; 69: 551-555.
16. Sakurai T, Sakurai H, Yamana K, et al: Expectations and limitations after bilateral pulmonary artery banding. *Eur J Cardiothorac Surg* 2016; 50: 626-631.
17. 角 秀秋：完全大血管転位。小児成育循環器学。pp 473-483, 診断と治療社。
18. 青木 満：修正大血管転位。小児成育循環器学。pp 510-514, 診断と治療社。
19. Murtuza B, Barron DJ, Stumper O, et al: Anatomic repair for congenitally corrected transposition of the

- great arteries: A single-institution 19-year experience. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2011; 142: 1348-1357.
20. Cui H, Hage A, Piekarski L, et al: Management of congenitally corrected transposition of the great arteries with intact ventricular septum. *Circ Cardiovasc Interv* 2021; 14: e010154.
 21. Metton O, Gaudin R, Ou P, et al: Early prophylactic pulmonary artery banding in isolated congenitally corrected transposition of the great arteries. *Eur J Cardio Thorac Surg* 2010; 38: 728-734.
 22. Trusler GA, Mustard WT: A method of banding the pulmonary artery for large isolated ventricular septal defect with and without transposition of the great arteries. *Ann Thorac Surg* 1972; 13: 351-355.
 23. Committee for Scientific Affairs, The Japanese Association for Thoracic Surgery, Shimizu H, Okada M, Tangoku A, et al: Thoracic and Cardiovascular surgeries in Japan during 2017. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2020; 68: 414-449.
 24. Schranz D, Recla S, Malcic I, et al: Pulmonary artery banding in dilative cardiomyopathy of young children: review and protocol based on the current knowledge. *Transl Pediatr* 2019; 8: 151-160.
 25. Schranz D, Akintuerk H, Bailey L: Pulmonary artery banding for functional regeneration of end-stage dilated cardiomyopathy in young children. *Circulation* 2018; 137: 1410-1412.
 26. Schranz D, Rupp S, Muller M, et al: Pulmonary artery banding in infants and young children with left ventricular dilated cardiomyopathy: A novel therapeutic strategy before heart transplantation. *J Heart Lung Transplant* 2013; 32: 475-481.
 27. Di Candia A, Castaldi B, Bordin G, et al: Pulmonary artery banding for ventricular rehabilitation in infants with dilated cardiomyopathy: early results in a single-center experience. *Front Pediatr* 2020; 8: 347.
 28. Spigel Z, Razzouk A, Nigro JJ, et al: Pulmonary artery banding for children with dilated cardiomyopathy: US experience. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Ann* 2020; 23: 69-76.
 29. Mafune R, Ono H, Ogawa Y, et al: Pulmonary artery banding in an infant with idiopathic dilated cardiomyopathy. *Pediatric Cardiology and Cardiac Surgery* 2020; 36: 256-262.
 30. Asano M, Doi K, Nomura M, et al: Cerebral oximetry-guided pulmonary artery banding for end-stage heart failure in a child with left ventricular noncompaction cardiomyopathy: a case report. *Transl Pediatr* 2021; 10: 3082-3090.

(受付：2022年7月4日)

(受理：2022年8月25日)

日本医科大学医学会雑誌は、本論文に対して、クリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 (CC BY NC ND) ライセンス (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) を採用した。ライセンス採用後も、すべての論文の著作権については、日本医科大学医学会が保持するものとする。ライセンスが付与された論文については、非営利目的の場合、元の論文のクレジットを表示することを条件に、すべての者が、ダウンロード、二次使用、複製、再印刷、頒布を行うことができる。