

## Review

【特集：第 19 回教育セミナー 〈外科系諸問題〉】

## 左心低形成症候群（HLHS）の外科治療における術式の変遷

小沼 武司

長野県立こども病院 心臓血管外科

Surgical Technique Variations in the Norwood Operation  
for Hypoplastic Left Heart Syndrome

Takeshi Konuma

Department of Cardiovascular Surgery, Nagano Children's Hospital, Nagano, Japan

Although treatment for hypoplastic left heart syndrome has improved, this condition is still considered high-risk.

[Aortic reconstruction] Aortic stenosis causes postoperative heart failure by increasing afterload and thus pulmonary blood flow. Patch augmentation of the entire arch is a common reconstruction technique for creating a large flow path. In Japan, however, reconstruction with primarily autologous tissue is common.

[Pulmonary artery reconstruction] The pulmonary blood flow must be adequate. Excessive pulmonary blood flow causes cardiac volume overload, while insufficient blood flow results in hypoxemia. A right ventricular-pulmonary artery conduit provides hemodynamic stability. This is considered an option, particularly for patients with a poor preoperative condition, such as low cardiac function or tricuspid valve regurgitation. However, there are concerns about the right ventricular incision, which can lead to ventricular dysfunction, and conduit stenosis.

[Bilateral pulmonary artery banding] Many Japanese institutions perform bilateral pulmonary artery banding as the first palliative procedure. It significantly reduces the risk of low birth weight, prematurity, cerebral hemorrhage, and complications of early cardiopulmonary bypass. It is expected to improve long-term outcomes, including neurodevelopment, by postponing open chest surgery during the neonatal period.

[Extracorporeal circulation] Partial cerebral perfusion is widely used in Japan. Complete circulatory arrest by hypothermia is most commonly used in North America and Europe, though the number of such procedures has grown in recent years. Lower body perfusion is also commonly used in Japan, but it has not become the standard method in other countries. Lower body blood perfusion is expected to reduce renal failure and shorten the intensive care unit stay.

Keywords: hypoplastic left heart syndrome, Norwood operation, aortic reconstruction, pulmonary reconstruction, bilateral pulmonary banding

左心低形成症候群（hypoplastic left heart syndrome: HLHS）の治療成績は向上しているが依然としてハイリスク疾患である。

【大動脈再建】広い流路を確保する必要があり、大動脈の狭窄は後負荷増大とそれによる肺血流増加によって術後心不全の要因となる。広い流路のために組織補填を行うことが主流であるが本邦では自己組織を主体とした再建が多い。

【肺動脈再建】肺血流量は適正である必要があり、肺血流過剰は心容量負荷となり血流不足は低酸素血

著者連絡先：小沼武司（E-mail: tkonuma2000@gmail.com）

〒399-8205 長野県安曇野市豊科 3100 長野県立こども病院 心臓血管外科

doi: 10.9794/jspccs.40.3

症を生じる。右室-肺動脈導管の利点は血行動態の安定性にあり、心機能低下や三尖弁逆流のある術前状態の不良な症例では特に選択枝であると考えられる。一方で右室切開とそれに伴う心室機能障害、導管狭窄の懸念がある。

【両側肺動脈絞扼】本邦では多くの施設で初回姑息術として行われている。低体重、未熟児、脳出血合併、早期 CPB 手術の合併症を減らす点で効果があり、新生児期から乳児期に高度な開胸手術を延期することで神経発達を含む長期転帰で利益をもたらすことが期待される。

【体外循環】部分的脳灌流は本邦で広く行われており、超低体温完全循環停止下が主流である欧米でも近年増加している。下半身送血も本邦では広く行われているが、海外では標準的方法とはなっていない。下半身送血により腎障害の軽減と ICU 滞在時間の短縮が期待される。

## はじめに

左心低形成症候群 (hypoplastic left heart syndrome: HLHS) にはかつて 1971 年に Van Praag<sup>1)</sup> によって発表された人工心肺を用いない手術、いわゆる Van Praagh 手術が行われていたがその多くは成績不良であった。1981 年に William I. Norwood<sup>2)</sup> が Norwood 手術の報告をしてからおよそ 40 年が経過するが、mortality は 10~15%、Fontan 到達率は約 70% で依然として HLHS はハイリスク疾患であり<sup>3)</sup>、これまでに様々な手術方法を始めとする改善が試みられてきた。本邦においても手術成績は欧米と比肩するレベルに到達しているが、独自ともいえる手術術式の変遷をたどっており、今回は Norwood 手術の大動脈再建、肺動脈再建、体外循環法などについての変遷を概説する。

## 大動脈再建

大動脈再建に際して、広い流路を確保する必要があり、新大動脈での狭窄 (CoA 残存) は後負荷増大とそれによる肺血流増加によって術後心不全の要因となる。20mmHg 以上の圧較差は治療対象となる<sup>4,5)</sup>。一方、拡大した大動脈も瘤化や大動脈後面の肺動脈圧迫を来すため注意が必要である。大動脈再建方法は

Norwood が自己組織のみによる再建と PTFE パッチ補填の両方を報告していたが<sup>2,6)</sup>、その後広い流路を無理なく確保するために組織補填を行うことが主流となった。欧米ではホモグラフトの使用が多いが、異種心膜や自己心膜、またゴアテックスなど人工物補填の報告もある<sup>7,8)</sup>。これらは成長性や石灰化などに課題があり、ホモグラフトも例外ではなく本邦では入手性でも劣っている。1995 年に Mee<sup>9)</sup> が自己組織のみの再建を報告しているが、同様に本邦では自己組織を主体とした再建が主流となっている。同方法での問題点として新上行大動脈 (主肺動脈) が短く、肺動脈弁から大動脈弓までの長軸方向距離が短いのみでなく、上行大動脈と下行大動脈間 (いわゆる retro aortic space) の狭小化がある。これらの解決として小沼<sup>10,11)</sup> が肺動脈幹温存法、山岸<sup>12)</sup> が Chimney 法として長軸方向への新上行大動脈の長軸方向延長および短軸方向への縮小をすることで retro aortic space すなわち左肺門を開大し肺動脈狭窄や気管支狭窄を生じにくい大動脈形態となる再建法を報告した (Fig. 1)。また大動脈弓の形態も従来の再建法での鋭角な大動脈弓角度がより緩やかになり、壁せん断応力とエネルギー損失の減少と心仕事量の軽減も期待される (Fig. 2)<sup>13)</sup>。自己組織のみによる再建によってもホモグラフトをはじめとする補填手術と同等の手術成績が得られることが期待

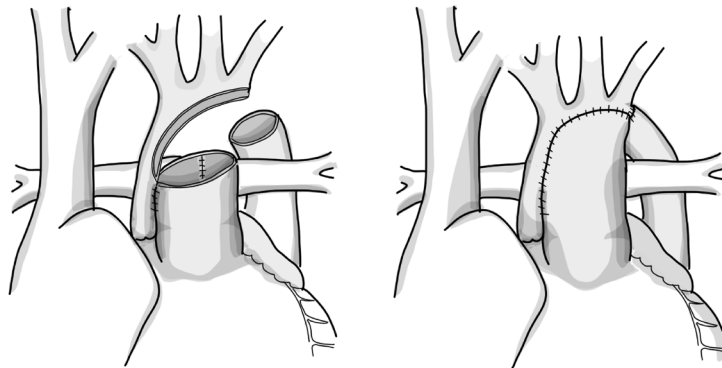


Fig. 1 自己組織のみによる大動脈再建法

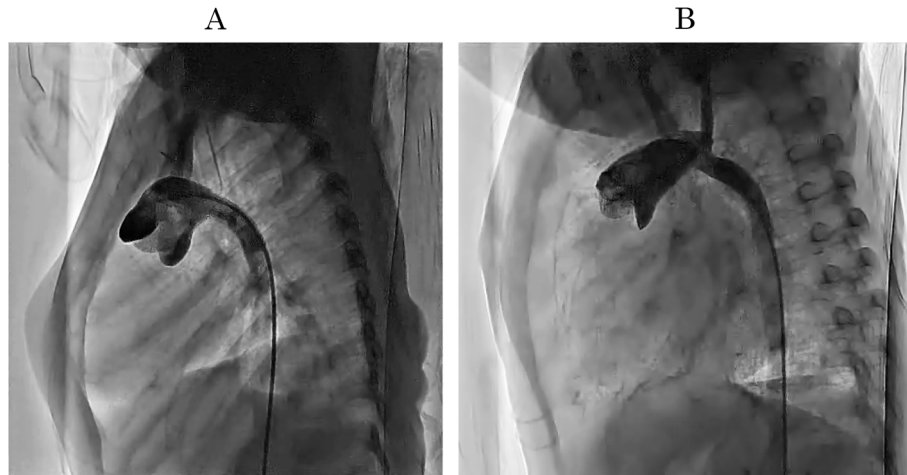


Fig. 2 (A)従来の自己組織のみによる大動脈再建. (B)肺動脈幹温存法による大動脈再建：従来の方法に比べて新上行大動脈が長く，大動脈弓の角度が緩やかである

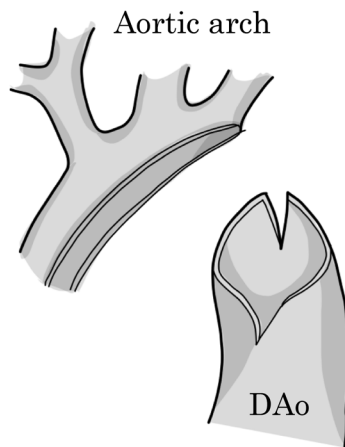


Fig. 3 interdigitating 法：下行大動脈に縦切開を行う  
DAo, descending aorta.

されている。また上行大動脈の再建において冠動脈灌流は Norwood 手術の最も重要な部分である。上行大動脈の直径が小さい場合（1～3mm）は大動脈基部で隣接する主肺動脈に吻合すること多いが，この領域でわずかな歪みがあると冠還流に影響する。個々の大動脈の形態に応じて側々吻合や離断しての端側吻合などを行う。また冠動脈起始異常を稀に合併する場合があります。これらの異常はすべて大動脈弁閉鎖症例において報告されており，手術に影響を及ぼす可能性がある。最近の剖検研究では 22% に冠動脈の異常があり，それが患者の死亡と関連していた<sup>14)</sup>。左冠動脈が肺動脈分枝から起始している症例の場合，冠動脈移植もしくは肺動脈幹温存法が必要となる<sup>15,16)</sup>。下行大動脈吻合時に interdigitating 法 (Fig. 3) として下行大動脈を縦切開することで良好な成績の報告もある<sup>17)</sup>。

### 肺動脈再建

Norwood 手術における肺血流路再建は手術結果を左右する要因である。過不足のない肺血流量を維持する必要があり，肺血流過剰は心容量負荷となり血流不足は低酸素血症となる。また良好な肺動脈発達がフォンタン到達には不可欠である。肺動脈再建方法の歴史的経緯は 1981 年の Norwood の手術報告で右室-肺動脈導管 (right ventricle-pulmonary artery: RV-PA) 弁付き導管で再建をしていたが<sup>2)</sup> 当時，新生児に適切なサイズの使用ができなかったことから体肺動脈短絡 (Blalock-Taussig shunt: BTS) が広く行われた<sup>18)</sup>。欧米では Norwood, BTS 手術によって 1990 年代に現在の本邦の手術成績と同じレベルに到達した<sup>8)</sup>。岸本<sup>19)</sup> が 1999 年に RV-PA の有用性の報告をし，井本や欧米<sup>20-23)</sup> に続き，2004 年に佐野<sup>24)</sup> が報告して広く認知された。RV-PA の利点は全身（および冠動脈）循環の拡張期血流が盗血されないことによる血行動態の安定性にあるが，一方で右室切開とそれに伴う心室機能障害および不整脈の可能性に関して懸念が残っている。RV-PA は ePTFE 人工血管が使われることが多いが，体重 2.5～4kg の症例では 5mm 径で，6mm は体重がそれ以上か肺血管抵抗 PVR が高い症例（PVO を伴う ASD 狭小例など）に使用され，4mm の導管は体重 2.5kg 以下に使用される（クラス II, レベル C）<sup>18)</sup> (Fig. 4)。過剰な肺血流の調整には BTS と同様に血管クリップを導管に行うことで可能である<sup>21,25)</sup>。BTS と RV-PA を臨床的に比較した北米のランダム化比較試験では① 12 カ月までは右室-肺動脈短絡で生存率が高かったが（74% vs 64%，

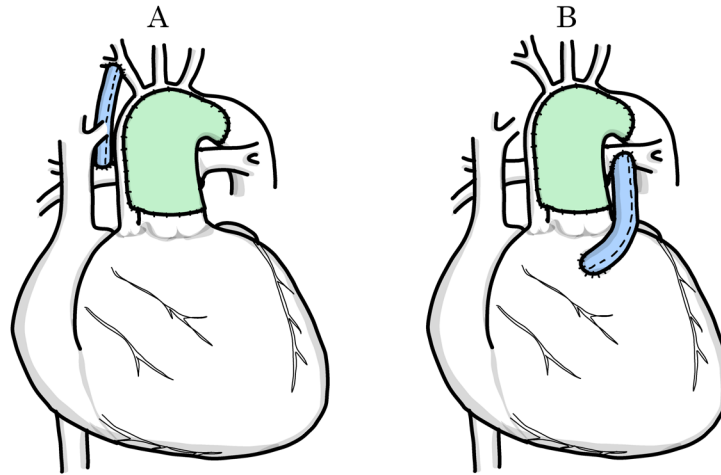


Fig. 4 (A) 体肺動脈短絡：BTS. (B) 右室-肺動脈導管：RV-PA

0.01), 遠隔期になると差がなくなる. ②肺動脈の発達には体肺動脈短絡が優れている. ③右室-肺動脈短絡でカテーテルインターベンション介入と合併症が多い結果であったが<sup>26,27)</sup> 心機能低下や三尖弁逆流のある術前状態の不良な症例ではRV-PAがその有利な血行動態から選択枝であると考えられる. RV-PAの問題点として近位側右室で心筋の突出と狭窄がある. 心筋切除は心室機能障害を生じるため限定的であるべきで, また主要な冠動脈を避ける必要がある. リング付きePTFE人工血管を近位吻合部の漏斗部切開から押し込むdunk法<sup>28)</sup>が考案され広く行われており, 右室切開による影響を最小限にする工夫によって心機能障害が改善した報告もある<sup>29)</sup>. 導管長は肺動脈や冠動脈の圧排や屈曲することのないよう適正にする必要があり, 新大動脈の左右のどちらに配置するかの違いについては明らかではない<sup>30,31)</sup>. 肺動脈再建を両側肺動脈絞扼後の4~6カ月に両方向性グレン手術(bidirectional cavopulmonary shunt: BCPS)として2nd stageのNorwoodに行うstrategyもあり, BCPSの容量負荷軽減効果からより安定した血行動態となる.

### 両側肺動脈絞扼 Bilateral PAB (Hybrid strategy)

HLHSに対するbilateral PABは体外循環や循環停止を伴わない姑息術として1993年に紹介され<sup>32)</sup>, 1998年に最初のbilateral PABおよび2nd stageのNorwood手術が報告された<sup>33)</sup>. 本邦では新保ら<sup>34)</sup>のremindもあり, 現在も多くの施設で初回姑息術として行われている. 低体重, 未熟児, 脳出血合併, 早期CPB手術の合併症を減らす, CoAによって制限

される逆行性大動脈弓血流減少, restrictive PFOの問題もあるとされている. 欧米ではprimary Norwoodが80%に行われ, PDAのステント留置を行うハイブリッド治療も含めたbilateral PABはHLHSの高リスク症例に対する救命処置として約20%に行われている<sup>18)</sup>. 手術は頰脈となる前に行うことが望ましく, 生後2~5日以内に行うべきであり, その理由として拡張したRVが進行性のTRを示すことを挙げている<sup>35)</sup>. 手術で用いる絞扼テープはePTFE人工血管の切り出しやePTFE tapeなど施設毎に異なるが, 術後の肺動脈低形成を防ぐために1~2mm幅の細いテープで左右肺動脈径が3~4mmとなる絞扼が推奨されている(クラスIIa, レベルB)<sup>18)</sup>. 両側肺動脈は肺動脈幹の背面で分岐しており<sup>11)</sup>, 右肺動脈の確保は容易であるが左肺動脈はやや困難で, 絞扼テープは肺動脈外膜に固定する. PABの効果は体血圧の上昇とSaO<sub>2</sub> 80%を目標とする低下によってただちに評価できるが, 絞扼の調整は心エコードップラ測定で評価されることが多い. 手術死亡率は5~25%と主に重症新生児のみに対して行われることもあり高い報告もある<sup>36-38)</sup>. bilateral PABの有効性については様々な研究があるが, 肺動脈へのintervention介入率は高いが予後への影響は少なく<sup>39)</sup>, 北米20施設564例の報告<sup>40)</sup>からは低体重量例でprimary Norwoodより中期遠隔期生存率が高いとされた. 本邦においてはNCDデータベースから<sup>41)</sup>, 90%の施設でbilateral PABを行っており, 60%でroutineな初回姑息術として行っており, 低体重や中等度以上の房室弁逆流症例でprimary Norwoodよりも生存率が高い可能性がある結果であった<sup>42)</sup>.



## 体外循環

Norwood 手術での体外循環は腕頭動脈に人工血管を吻合して行う部分的脳灌流が本邦では 1990 年代から行われている。麻生ら<sup>43)</sup>が 1996 年に報告しているが現在も小児領域の大動脈弓形成で広く行われている方法である。欧米では深部体温 18~20°C での超低体温完全循環停止下で行うのが一般的であるが、近年欧米でも部分的脳灌流の使用が増えている<sup>44)</sup>。超低体温完全循環停止は停止時間 45 分以内であれば神経学的障害発生は少ないとされており、循環停止中は体外循環カニューレを抜去することから大動脈再建後のジオメトリ評価が有用であり、無血視野が得られやすい利点がある。部分的脳灌流には生存率向上のエビデンスはないが、大動脈弓部操作時間の延長という利点がある<sup>45)</sup>。下半身送血による全身灌流も 1999 年の井本ら<sup>19)</sup>の報告以来本邦では広く行われているが、海外では標準的方法とはなっていない<sup>18)</sup>。生存率の優位性を示唆する臨床試験はないが、腎障害の軽減と ICU 滞在時間の短縮が期待できる<sup>46)</sup>。

## まとめ

HLHS の外科治療の再建方法の変遷について記載した。本邦の Norwood 手術成績は 2000 年代によく欧米に比肩するレベルとなったが、その過程で独自といってよい術式の発展をしており、bilateral PAB や体外循環にその特徴がある。救命率のみならずフォンタン到達率の向上とその長期予後が今後の課題であり、わが国のきめ細やかな小児心臓外科治療の特徴を生かした手術方法、治療戦略の発展がこれからも望まれる。また房室弁閉鎖不全、低体重、低心機能、PVO 合併例ではより柔軟な対応が必要である。

## 利益相反

本論文について開示すべき利益相反 (COI) はない。

## 引用文献

- 1) Van Praagh R, Bernhard WF, Rothenthal A, et al: Interrupted aortic arch surgical treatment. *Am J Cardiol* 1971; **27**: 200-211
- 2) Norwood WI, Lang P, Castaneda AR, et al: Experience with operations for hypoplastic left heart syndrome. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1981; **82**: 511-519
- 3) Hasegawa T, Masuda M, Okumura M, et al: Trends and outcomes in neonatal cardiac surgery for congenital heart disease in Japan from 1996 to 2010. *Eur J Cardiothorac*

- Surg* 2017; **51**: 301-307
- 4) Bautista-Hernandez V, Marx GR, Gauvreau K, et al: Coarctectomy reduces neo-aortic arch obstruction in hypoplastic left heart syndrome. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007; **133**: 1540-1546
- 5) Larrazabal LA, Selamet Tierney ES, Brown DW, et al: Ventricular function deteriorates with recurrent coarctation in hypoplastic left heart syndrome. *Ann Thorac Surg* 2008; **86**: 869-874
- 6) Lang P, Norwood WI: Hemodynamic assessment after palliative surgery for hypoplastic left heart syndrome. *Circulation* 1983; **68**: 104-108
- 7) Jonas RA, Lang P, Hansen D, et al: First-stage palliation of hypoplastic left heart syndrome: The importance of coarctation and shunt size. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1986; **92**: 6-13
- 8) Bove EL: Current status of staged reconstruction for hypoplastic left heart syndrome. *Pediatr Cardiol* 1998; **19**: 308-315
- 9) Fraser CD Jr, Mee RB: Modified Norwood procedure for hypoplastic left heart syndrome. *Ann Thorac Surg* 1995; **60** Suppl: S546-S549
- 10) 小沼武司, 三谷義英, 新保秀人, ほか: 肺動脈幹温存法 Norwood 変法を行い改善した, 気管支軟化症の一例. *日小児循環器会誌* 2016; **32**: 208-212
- 11) Konuma T, Sakamoto S, Toba S, et al: Novel aortic arch reconstruction using a modified Norwood procedure based on hypoplastic left heart syndrome-specific anatomical malformations. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2018; **27**: 243-249
- 12) Asada S, Yamagishi M, Yaku H: Chimney reconstruction of the aortic arch in the Norwood procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2017; **154**: e51-e54
- 13) Itatani K, Miyaji K, Qian Y, et al: Influence of surgical arch reconstruction methods on single ventricle workload in the Norwood procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2012; **144**: 130-138
- 14) Nathan M, Williamson AK, Mayer JE, et al: Mortality in hypoplastic left heart syndrome: Review of 216 autopsy cases of aortic atresia with attention to coronary artery disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2012; **144**: 1301-1306
- 15) Konuma T, Toba S, Shimpo H, et al: A novel aortic reconstruction for anomalous left coronary arising from the right pulmonary artery in hypoplastic left heart syndrome: successful surgical treatment. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2018; **30**: 456-459
- 16) Turiy Y, Douglas W, Balaguru D: Anomalous origin of coronary artery from main pulmonary artery in hypoplastic left heart syndrome. *Ann Thorac Surg* 2015; **100**: 2346-2348
- 17) Burkhart HM, Ashburn DA, Konstantinov IE, et al: Interdigitating arch reconstruction eliminates recurrent coarctation after the Norwood procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005; **130**: 61-65
- 18) Alphonso N, Angelini A, Barron DJ, et al: Guidelines for the management of neonates and infants with hypoplastic left heart syndrome: The European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) and the Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC) Hypoplastic Left Heart Syndrome Guidelines Task Force. *Eur J Cardiothorac Surg. Eur J Cardiothorac Surg* 2020; **1**: 416-499

- 19) Kishimoto H, Kawahira Y, Kawata H, et al: The modified Norwood palliation on a beating heart. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999; **118**: 1130–1132
- 20) Imoto Y, Kado H, Shiokawa Y, et al: Norwood procedure without circulatory arrest. *Ann Thorac Surg* 1999; **68**: 559–561
- 21) Malec E, Januszewska K, Kolcz J, et al: Right ventricle-to-pulmonary artery shunt versus modified Blalock-Taussig shunt in the Norwood procedure for hypoplastic left heart syndrome: Influence on early and late haemodynamic status. *Eur J Cardiothorac Surg* 2003; **23**: 728–733
- 22) Pizarro C, Malec E, Maher KO, et al: Right ventricle to pulmonary artery conduit improves outcome after stage I Norwood for hypoplastic left heart syndrome. *Circulation* 2003; **108** Suppl 1: II-155-II-160
- 23) Mair R, Tulzer G, Sames E, et al: Right ventricular to pulmonary artery conduit instead of modified Blalock-Taussig shunt improves postoperative hemodynamics in newborns after the Norwood operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; **126**: 1378–1384
- 24) Sano S, Ishino K, Kawada M, et al: Right ventricle-pulmonary artery shunt in first-stage palliation of hypoplastic left heart syndrome. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; **126**: 504–510
- 25) Pizarro C, Malec E, Maher KO, et al: Right ventricle to pulmonary artery conduit improves outcome after stage I Norwood for hypoplastic left heart syndrome. *Circulation* 2003; **108** Suppl 1: II-155-II-160
- 26) Ohye RG, Sleeper LA, Mahony L, et al: Pediatric Heart Network Investigators: Comparison of shunt types in the Norwood procedure for single ventricle lesions. *N Engl J Med* 2010; **62**: 1980–1992
- 27) Newburger JW, Sleeper LA, Gaynor JW, et al: On behalf of the Pediatric Heart Network Investigators: Transplant-free survival and interventions at 6 years in the SVR trial. *Circulation* 2018; **137**: 2246–2253
- 28) Tweddell JS, Mitchell ME, Woods RK, et al: Construction of the right ventricle-to-pulmonary artery conduit in the Norwood: The “Dunk” technique. *Oper Tech Thorac Cardiovasc Surg* 2012; **17**: 81–98
- 29) Bhatla P, Kumar TS, Makadia L, et al: Periscopic technique in Norwood operation is associated with better preservation of early ventricular function. *JTCVS Tech* 2021; **8**: 116–123
- 30) Gist KM, Barrett CS, Graham DA, et al: Pulmonary artery interventions after Norwood procedure: Does type or position of shunt predict need for intervention? *J Thorac Cardiovasc Surg* 2013; **145**: 1485–1492
- 31) Brooks A, Stickley J, Woolley SM, et al: The Norwood procedure using a right ventricle-pulmonary artery conduit: Comparison of the right-sided versus left-sided conduit position. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2009; **138**: 528–537
- 32) 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. *Heart* 1993; **69**: 551–555
- 33) Akintuerk H, Michel-Behnke I, Valeske K, et al: Stenting of the arterial duct and banding of the pulmonary arteries: Basis for combined Norwood stage I and II repair in hypoplastic left heart. *Circulation* 2002; **105**: 1099–1103
- 34) Takabayashi S, Shimpo H, Ozu Y, et al: A Fontan completion through stage I bilateral pulmonary artery banding for hypoplastic left heart syndrome. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005; **130**: 1464–1465
- 35) Ohye RG, Schranz D, D’Udekem Y: Current therapy for hypoplastic left heart syndrome and related single ventricle lesions. *Circulation* 2016; **134**: 1265–1279
- 36) Lloyd DFA, Cutler L, Tibby SM, et al: Analysis of preoperative condition and interstage mortality in Norwood and hybrid procedures for hypoplastic left heart syndrome using the Aristotle scoring system. *Heart* 2014; **100**: 775–780
- 37) Galantowicz M, Yates AR: Improved outcomes with the comprehensive stage 2 procedure after an initial hybrid stage 1. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2016; **151**: 424–429
- 38) Cua CL, McConnell PI, Meza JM, et al: Hybrid palliation: Outcomes after the comprehensive stage 2 procedure. *Ann Thorac Surg* 2018; **105**: 1455–1460
- 39) Rahkonen O, Chaturvedi RR, Benson L, et al: Pulmonary artery stenosis in hybrid single-ventricle palliation: High incidence of left pulmonary artery intervention. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2015; **149**: 1102–1110
- 40) Wilder TJ, McCrindle BW, Hickey EJ, et al: Congenital Heart Surgeons’ Society: Congenital heart surgeons’ society: Is a hybrid strategy a lower-risk alternative to stage 1 Norwood operation? *J Thorac Cardiovasc Surg* 2017; **153**: 163–172
- 41) Hirata Y, Miyata H, Hirahara N, et al: long term results of bilateral pulmonary artery banding versus primary norwood procedure. *Pediatr Cardiol* 2018; **39**: 111–119
- 42) Hoashi T, Imai K, Okuda N, et al: Intermediate-term outcomes of deferred Norwood strategy. *Eur J Cardiothorac Surg* 2022; **62**: ezac099
- 43) Asou T, Kado H, Imoto Y, et al: Selective cerebral perfusion technique during aortic arch repair in neonates. *Ann Thorac Surg* 1996; **61**: 1546–1548
- 44) Ohye RG, Goldberg CS, Donohue J, et al: Michigan Congenital Heart Outcomes Research and Discovery Investigators: The quest to optimize neurodevelopmental outcomes in neonatal arch reconstruction: The perfusion techniques we use and why we believe in them. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2009; **137**: 803–806
- 45) Algra SO, Jansen NJG, van der Tweel I, et al: Neurological injury after neonatal cardiac surgery: A randomized, controlled trial of 2 perfusion techniques. *Circulation* 2014; **129**: 224–233
- 46) Hammel JM, Deptula JJ, Karamlou T, et al: Newborn aortic arch reconstruction with descending aortic cannulation improves postoperative renal function. *Ann Thorac Surg* 2013; **96**: 1721–1726