

## 大動脈縮窄・離断複合に対する無名動脈 および下行大動脈送血による一期的根治術

(平成11年11月4日受付)

(平成12年3月6日受理)

福岡市立こども病院心臓血管外科, 循環器科<sup>1)</sup>, 新生児循環器科<sup>2)</sup>, 九州大学心臓外科<sup>3)</sup>

井本 浩 角 秀秋 塩川 祐一 鐘ヶ江靖夫  
深江 宏治 岩城 秀行 園田 拓道 南 和  
村上 淳 梶原 敬義 佐川 浩一<sup>1)</sup> 牛ノ濱大也<sup>1)</sup>  
石川 司朗<sup>1)</sup> 総崎 直樹<sup>2)</sup> 本田 恵<sup>1)</sup> 安井 久喬<sup>3)</sup>

**key words:** 小児開心術, 大動脈弓再建, 下行大動脈送血法, 脳灌流, 腎不全

### 要 旨

新生児, 乳児の大動脈縮窄・離断複合に対し, 無名動脈からの脳灌流法に加え胸骨正中創から横隔膜直上の下行大動脈にカニューレーションを行うという新しいアプローチを用いた下半身送血法を併用し循環遮断を全く行わずに一期的修復術を行った。症例は大動脈縮窄複合9例, および大動脈弓離断複合5例の合計14例である(年齢 $36.0 \pm 29.5$ 日)。無名動脈および下行大動脈への送血と上下大静脈脱血による体外循環を確立後, 拡大大動脈弓吻合術をもちいて大動脈弓を再建した。心内修復術として動脈スイッチ手術(Taussig-Bing anomaly, 3例), 心室内血流転換(両大血管右室起始症, 2例), 心室中隔欠損閉鎖(9例)を行った。手術死亡は動脈スイッチ手術を行った大動脈縮窄合併の1例のみで, この例を除くと胸骨二次閉鎖や腹膜灌流施行例はなく術後経過も良好であった。術後の脳障害の発生や下行大動脈送血に関連した合併症は認めなかった。

本法は乳児の大動脈弓再建を伴う開心術における有効, 簡便かつ侵襲の少ない優れた体外循環補助手段であると考えられた。

### はじめに

新生児および乳児の開心術においては成人と異なり大腿動脈を下半身送血に用いることが不可能なため, 大動脈弓部の再建を要する手術には従来より超低体温循環停止法が多く用いられてきた。しかし循環停止に基づく脳神経障害, 腎不全, あるいは低体温による浮腫, 止血凝固異常などの問題点も多く報告されており<sup>1,2)</sup>, 循環停止を用いない開心補助手段が望まれていた。われわれの施設では以前より左開胸にて下行大動

脈に吻合した人工血管を胸骨正中創より体外に導き, これを下半身送血に用いることで下半身の循環停止を回避してきた<sup>3)</sup>(側開胸到達法)。一方, 脳循環に対しては無名動脈に送血を行うことで弓再建中も脳循環停止を避けるようにしてきた<sup>4,5)</sup>。この2つの補助手段の組み合わせにより死亡率に関してはほぼ満足のいく結果を得ることができている。しかし左開胸を行うことは別の大きな侵襲を加えることでもあった。そこでわれわれは1998年より下半身灌流の新しいアプローチとして正中創經由で横隔膜直上の下行大動脈へのカニューレーションを開始した(正中到達法)<sup>6,7)</sup>。本法と無名動脈送血法を組み合わせることにより循環停止を完全に回避することができ, しかも従来の方法に比べて簡便かつ低侵襲であると思われたので報告する。

別刷請求先:(〒810 0063) 福岡市中央区唐人町2

表1 症例のプロフィール

症例	日齢	体重 (kg)	診断	術式	結果
1	30	3.2	IAA(B), T-B	EAAA, ASO, PEAA	生存
2	12	3.0	IAA(B), DORV(DC-VSD)	EAAA, ICR	生存
3	20	3.8	IAA(A), VSD	EAAA, VSD closure	生存
4	40	4.5	IAA(A), VSD	EAAA, VSD closure	生存
5	48	3.2	IAA(A), VSD	EAAA, VSD closure	生存
6	18	3.9	CoA, T-B	EAAA, ASO, PEAA	生存
7	22	3.0	CoA, T-B	EAAA, ASO, PEAA	早期死亡
8	20	2.6	CoA, DORV(SA-VSD)	EAAA, ICR	生存
9	14	1.6	CoA, VSD	EAAA, VSD closure	生存
10	14	3.3	CoA, VSD	EAAA, VSD closure	生存
11	16	2.2	CoA, VSD	EAAA, VSD closure	生存
12	53	2.4	CoA, VSD	EAAA, VSD closure	生存
13	97	3.3	CoA, VSD	EAAA, VSD closure	生存
14	100	3.3	CoA, VSD	EAAA, VSD closure	生存

IAA = interruption of the aortic arch ; T-B = Taussig-Bing anomaly ; DORV = double-outlet right ventricle ; DC-VSD = doubly committed VSD ; CoA = coarctation of the aorta ; SA-VSD = subaortic VSD ; EAAA = extended aortic arch anastomosis ; ASO = arterial switch operation ; PEAA = patch enlargement of the ascending aorta ; ICR = intracardiac rerouting.

**対 象**

対象は1998年7月から1999年6月までに正中到達法による下行大動脈送血法を併用して一期的修復を行った大動脈縮窄 (CoA) 複合9例, および大動脈弓離断 (IAA) 複合5例の合計14例である (表1)。年齢は12日から100日 (36.0 ± 29.5日), 体重は1,614gから4,492g (3,089 ± 732g) であった。合併心奇形はTaussig-Bing anomaly (T-B) 3例, 両大血管右室起始症 (DORV) 2例 (subaortic VSD 1例, doubly committed VSD 1例) であり, 他の症例はいずれもVSDを合併していた。

従来の側開胸到達法と正中到達法の成績の比較にはVSD合併例のみを対象として検討を行った。側開胸到達法8例 (1993年11月~1997年2月) および正中到達法9例で手術時年齢, 体重に有意差を認めなかった (表5)。

**方 法**

正中到達法による下行大動脈送血を行う場合, 胸骨正中切開後に横隔膜直上で心膜後面に約2cmの横切開を加え左胸腔に至り, 食道に注意しながら下行大動脈前壁にカニューラ固定用のタパコ縫合をかけた (図1)。周辺臓器の損傷を避けるため下行大動脈壁の剥離は最小に止めた。無名動脈に直角の金属チップカニューラを挿入し (外径2.1mm: ジャパンメディカルサプライ), 上下大静脈脱血にて体外循環を開始した。

体外循環開始後に無名動脈に挿入したものと同じカニューラを下行大動脈に挿入して送血回路のY字管に接続し, 上半身・下半身への灌流を確立した (図2)。次に大動脈弓およびその分枝と下行大動脈に遮断鉗子をかけ動脈管を離断した後, 大動脈壁の動脈管組織を十分に切除した。吸収性糸 (7-0 polydioxanone suture, PDS) を用いた連続縫合により拡大大動脈弓吻合術を行った。この間, 下半身へは下行大動脈のカニューラより灌流されており, 脳循環は無名動脈への送血で維持されていた。IAAの1例を含む8例では弓再建中も無名動脈送血から上行大動脈を介して冠灌流を維持できた。残る6例では上行大動脈を遮断し心停止下に弓再建を行った。

心内奇形の修復はTaussig-Bing anomalyの3例に動脈スイッチ手術 (いずれも自己心膜パッチによる上行大動脈の拡大を併用) を行ったほか, DORVの2例には心室内トンネルパッチによる修復を行った (表1)。他のVSD合併例にはいずれもパッチ閉鎖を行った。

体外循環灌流量は上半身および下半身の合計で130~175 ml/min/kg (151 ± 16 ml/min/kg) であり, 最低直腸温度は28.4 ~ 33.1 (30.5 ± 1.4) であった。

われわれの体外循環回路はone-pump systemであり無名動脈と下行大動脈への灌流量を別個に設定することができないため, 灌流不均衡の予防には上・下半

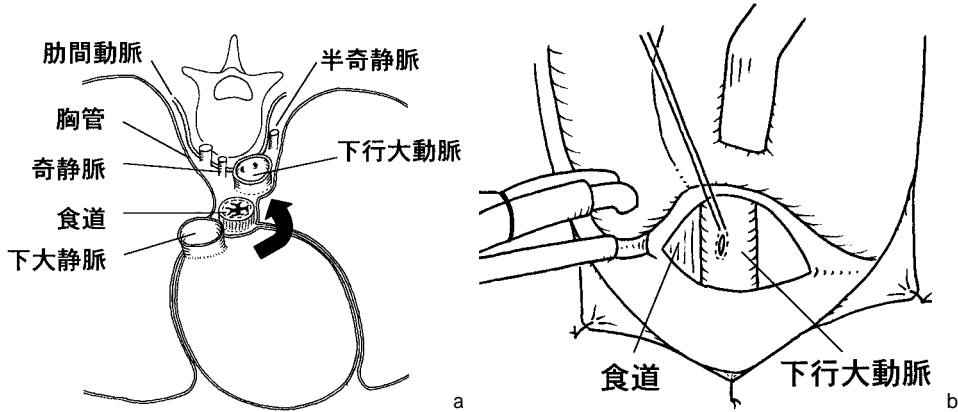


図1 下行大動脈周辺の解剖とアプローチの方法 . a)横隔膜直上レベルでの下行大動脈周辺の解剖 . 黒矢印は下行大動脈へのアプローチを示す . b)心膜を横切開し左胸腔より下行大動脈にアプローチする . タバコ縫合をかけるまでの操作は体外循環以前に充分可能である .

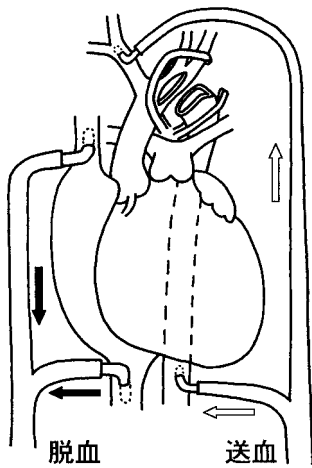


図2 体外循環回路と大動脈弓の再建 . 弓再建中も循環停止が不要であるのみならず、冠血流を維持しながら心拍動下での弓再建が可能な症例もある .

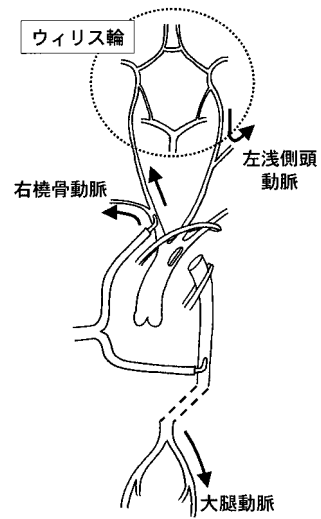


図3 体外循環中の上・下半身の灌流と血圧モニタリング .

身それぞれの動脈圧モニターが重要と考えている . 下半身のモニターとしては左右いずれかの大腿動脈を用いた . 弓再建中の左脳半球への血流は主としてウィリス輪を介した反対側からの血流に頼っておりウィリス輪の発達の程度によっては血流不足の可能性があるため、上半身のモニターとしては左浅側頭動脈を第一選択とした(図3) . 左浅側頭動脈が確保できない場合第二選択として右橈骨動脈を用いた .

**結 果**

1例を術後8日目に失った . この患者は体外循環中

の気管内吸引がきっかけとなり高度の気道出血を生じ、その後に多臓器不全に陥ったものである .

動脈スイッチ手術症例を除いた11例での体外循環時間は  $146 \pm 37$  分間、大動脈遮断時間は  $49 \pm 22$  分間であった(表2) .

術後の挿管期間は16~106時間 ( $40 \pm 32$  時間)で、VSD合併例のみを対象とすると  $26.3 \pm 12.7$  時間であった(表3) . 手術死亡した1例以外に胸骨二次閉鎖、腹膜灌流施行、アドレナリン点滴を要した症例はな

かった。またこの1例を除くと術後24時間の尿量は270±94 mlといずれも良好であった。術後の血清クレアチニン値が1.0 mg/dlを越えた症例は死亡例を含め2例のみであった。神経学的異常を認めた症例はなかった。下行大動脈送血に関連した合併症、すなわち挿入部からの出血や周辺臓器の損傷などは認めなかった。

上・下半身の動脈圧のモニターが可能であった13例につき体外循環中の上・下半身の平均動脈圧の較差を検討した。上半身の圧モニターとして左浅側頭動脈を用いた症例は7例、右橈骨動脈を用いた症例は6例であった。弓再建前は左浅側頭動脈 大腿動脈間および右橈骨動脈 大腿動脈間ともほとんど圧較差を認め

なかった(表4)。弓部およびその分枝を遮断すると左浅側頭動脈の平均圧は大腿動脈に比べ平均4.4 mmHg低値となった。これはウィリス輪を介することによる圧降下のためと思われる。しかし10 mmHg以上の圧較差を認めた症例はなく、無名動脈送血により反対側の脳半球にも十分な血流が供給されることがうかがわれた。

新旧アプローチそれぞれの手術成績を比較したところ、手術死亡は正中到達法ではなく、側開胸到達法では1例で有意差は認めなかった(表5)。ポンプ流量、体外循環時間、大動脈遮断時間などの術中パラメーターに差はなく、最低直腸温度が側開胸到達法の26.1±1.9 に対し正中到達法では31.2±1.0 と有意に高かった(p<0.001)。また手術時間は側開胸到達法の444±58分に対し正中到達法では303±34分と2時間以上短縮されていた。術後のパラメーターではカテコラミン使用量、術後24時間尿量、血清クレアチニンおよび尿素窒素レベルのいずれも有意差を認めなかったが、挿管期間は側開胸到達法の71.0±20.1時間に対し正中到達法では26.3±12.7時間と有意な短縮が認めら

表2 体外循環パラメーター

ポンプ流量 (ml/min/kg)	151 ± 16
最低直腸温度 ( )	30.5 ± 1.4
体外循環時間 (min)	146 ± 37 *
大動脈遮断時間 (min)	49 ± 22 *

\*動脈スイッチ手術症例を除く

表3 術後経過のまとめ

挿管期間 (h)	40 ± 32
術後24時間尿量 (ml)	270 ± 94
血清Cr上昇例 (> 1.0mg/dl)	2/14
腹膜灌流施行例	1*/14
神経学的異常	0/13

\*早期死亡例

表4 体外循環中の上・下半身動脈圧較差

部位	弓遮断前圧較差 (mmHg)	弓遮断中圧較差 (mmHg)
左浅側頭動脈 大腿動脈 (n = 7)	0.9 ± 2.1	- 4.4 ± 2.2
右橈骨動脈 大腿動脈 (n = 6)	1.3 ± 3.9	2.7 ± 2.9

表5 新・旧到達法の比較

	正中到達法 (n = 9)	側開胸到達法 (n = 8)	p
年齢 (日)	42 ± 33	24 ± 15	0.11
体重 (kg)	3.1 ± 0.8	2.8 ± 0.4	0.27
ポンプ流量 (ml/min/kg)	150 ± 16	153 ± 16	0.38
最低直腸温度 ( )	31.2 ± 1.0	26.1 ± 1.9	p < 0.0001
大動脈遮断時間 (min)	46 ± 21	61 ± 21	0.09
体外循環時間 (min)	137 ± 24	134 ± 13	0.38
手術時間 (min)	303 ± 34	444 ± 58	p < 0.0001
術後挿管期間 (h)	26.3 ± 12.7	71.0 ± 20.1	0.0002
術後カテコラミン使用量* (μg/kg/min)	4.9 ± 3.6	5.0 ± 0.7	0.41
術後24時間尿量 (ml)	281 ± 104	298 ± 62	0.37
術後Cr最高値 (mg/dl)	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.3	0.47
術後BUN最高値 (mg/dl)	25.1 ± 8.3	23.0 ± 6.2	0.31
手術死亡	0(0%)	1(12.5%)	0.27

\* ICU入室時のドーパミンおよびドブタミン使用量の合計

れた。

### 考 察

小児，特に乳児における弓再建では多くの施設でいまだに超低体温循環停止法が用いられているのが現状である。これに対し脳循環や下半身の循環を維持する補助手段が考案されており，現在のところ弓遮断中の体外循環法のうえからは完全循環停止，下半身のみ循環停止，循環停止を全く行わない（今回のわれわれの報告を含む），の3者の選択があると考えられる。われわれは脳神経障害の発生を防ぐためにはいかなる場合においても脳循環停止を避けるべきだと考えているが，下半身のみ循環停止に関しては短時間であればそれが著しい悪影響を与えるものではないとする考え方もあると思われる。ただ，時として弓再建に予想外に長時間を要する場合もあろうし，遮断時間を気にしながら弓再建を行うという術者側の心的ストレスも無視できない。さらにたとえ下半身のみであれ循環停止を行うにはかなりの低体温を用いる場合が多いと思われる。これによる全身への影響は避けられないと考えられる。以上の理由からわれわれは弓部の遮断を行うすべての症例で今回報告した循環停止を全く用いない方法を行っている。

下行大動脈へのカニューレーションの手技上，視野不良，心臓への圧迫，挿入部からの出血などが懸念されたが，これらは全く問題とならなかった。この方法はCooley<sup>8)</sup>により成人の再開胸手術の際に心膜の高度癒着と腹部大動脈の動脈硬化のために通常のカニューレーションが不可能な場合の変法として紹介されているが，乳児においては皮膚切開から下行大動脈への距離が近く視野良好という点から成人におけるよりは手技的に容易かつ安全であると思われる。

上・下半身の血流の不均衡の発生に関して，これまでの経験では10 mmHg以上の圧較差を生じた症例はなかった。もしモニター上上・下半身の著しい圧較差を生じた場合にはカニューラが正確に内腔に挿入されているか，カニューラに過大な緊張が加わっていないかなどの確認を怠らないことが重要である。

一方，上半身の循環，特に脳循環に関してはAsouら<sup>4)</sup>の報告にあるように通常は弓部遮断中も無名動脈からの送血のみでウィリス輪を介する交通により左脳半球への血流は十分に保たれると思われる。しかしウィリス輪の発達不良な症例が存在する可能性もあり，その場合には左浅側頭動脈の圧モニターが重要な情報を与えてくれるはずである。弓部およびその分枝

を遮断した時に左浅側頭動脈の圧が極端に低下する場合には弓部の遮断鉗子を左総頸動脈と左鎖骨下動脈の間に置いて弓再建を行う，あるいは左総頸動脈にも体外循環からの送血を行う，などの対策を考えるべきであろう。

新旧到達法での比較で今回示されたように側開胸到達法でも術後カテコラミン使用量や腎機能などは正中到達法に比べ遜色ない結果であったが挿管期間は正中到達法で著しく短縮されていた。これは左肺への直接的な侵襲，呼吸筋の損傷，あるいは今回の結果で示された手術時間の差などが現れたものと考えられ，正中到達法がより低侵襲であることを示していると思われる。

以上，胸部正中創からの下行大動脈へのカニューレーションによる下半身灌流と無名動脈からの脳灌流を併用することにより循環停止を全く行わずに大動脈縮窄・離断複合の一次的修復を施行し良好な結果を得た。本法は小児の大動脈弓再建を伴う開心術における有効，簡便かつ侵襲の少ない優れた体外循環補助手段であると考えられた。

### 文 献

- 1) Bellinger DC, Jonas RA, Rappaport LA, Wypij D, Wernovsky G, Kuban KCK, Barnes PD, Holmes GL, Hickey PR, Strand RD, Walsh AZ, Helmers SL, Constantinou JE, Carrazana EJ, Mayer JE, Hanley FL, Castaneda AR, Ware JH, Newburger JW: Developmental and neurologic status of children after heart surgery with hypothermic circulatory arrest or low-flow cardiopulmonary bypass. *N Engl J Med* 1995; 332: 549-55
- 2) Asfour B, Bruker B, Kehl HG, Frund S, Scheld HH: Renal insufficiency in neonates after cardiac surgery. *Clin Nephrol* 1996; 46: 59-63
- 3) Yasui H, Kado H, Yonenaga K, Kawasaki S, Shiokawa Y, Kouno H, Tominaga R, Kawachi Y, Tokunaga K: Revised technique of cardiopulmonary bypass in one-stage repair of interrupted aortic arch complex. *Ann Thorac Surg* 1993; 55: 1166-71
- 4) Asou T, Kado H, Imoto Y, Shiokawa Y, Tominaga R, Kawachi Y, Yasui H: Selective cerebral perfusion technique during aortic arch repair in neonates. *Ann Thorac Surg* 1996; 61: 1546-8
- 5) 佐野俊二: Norwood手術の適応と限界，胸部・血管の外科，心外科学体系追補 3, 1977, pp 230-236
- 6) 井本 浩，角 秀秋，塩川祐一，鐘ヶ江靖夫，深江宏治，岩城秀行，園田拓道，南和，安井久喬: 胸骨

正中切開より横隔膜直上にて下行大動脈送血を行った大動脈弓離断症一期的根治術の1例. 胸部外科 1999 ; 52 : 372-374

7) Imoto Y, Kado H, Shiokawa Y, Fukae K, Yasui H : Norwood procedure without circulatory ar-

rest. Ann Thorac Surg 1999 ; 68 : 559-61

8) Cooley DA : Cannulation for temporary bypass. In : Cooley DA ( ed ) : Techniques in cardiac surgery. 2nd ed. Philadelphia : W.B.Saunders, 1984, pp 83-97

### Primary Repair of Aortic Coarctation and Interruption Using Cannulation of the Descending Aorta and the Innominate Artery

Yutaka Imoto, Hideaki Kado, Yuichi Shiokawa, Yasuo Kanegae, Kohji Fukae, Hideyuki Iwaki, Hiromichi Sonoda, Jun Murakami, Noriyoshi Kajihara, Koichi Sagawa<sup>a)</sup>, Hiroya Ushinohama<sup>a)</sup>, Shiro Ishikawa<sup>a)</sup>, Naoki Fusazaki<sup>b)</sup>, Sunao Honda<sup>a)</sup> and Hisataka Yasui<sup>c)</sup>  
Cardiovascular Surgery, Cardiology<sup>a)</sup> and Neonatal Cardiology<sup>b)</sup>, Fukuoka Children's Hospital, and Department of Cardiovascular Surgery, Kyushu University<sup>c)</sup>, Fukuoka, Japan

To avoid deep hypothermic circulatory arrest in cardiac surgery with aortic arch reconstruction in infants, a new approach with cannulation of the descending thoracic aorta was used in combination with cerebral perfusion through the innominate artery. Fourteen patients were included in this study, 10 with aortic coarctation and 4 with interrupted aortic arch. Operative age was  $36.0 \pm 29.5$  days in average. Pump-flow was maintained at  $151 \pm 16$  ml/min/kg and the lowest rectal temperature was  $30.5 \pm 1.4$ . Extended aortic arch anastomosis was used for the arch reconstruction in all the cases. Concomitant repair of the cardiac lesions were arterial switch procedure with patch enlargement of the ascending aorta in the 3 patients with Taussig-Bing anomaly, intracardiac rerouting for the double-outlet right ventricle in 2 and patch closure of the VSD in 9. One patient died of massive airway bleeding. The other patients led uneventful postoperative course, and delayed sternal closure, renal failure, and neurological deficit were not seen among the survived patients. In conclusion, descending aorta cannulation through median sternotomy enables complete avoidance of circulatory arrest when used in combination with the cerebral perfusion technique through the innominate artery, and is a simple, safe and useful technique in the arch reconstruction in infants.