

原 著

乳幼児（体重 10Kg 以下）に対する 体外循環下開心術の臨床的研究

1 人工心肺装置，体外循環法及び臨床成績

天理病院心臓血管外科（院長：山本 俊平博士）
京都大学医学部外科学教室第2講座（指導：木村 忠司教授）

毛 利 民

（原稿受付：昭和47年2月28日）

Clinical Research of Open Heart Surgery in Infancy and early Childhood under Extracorporeal Circulation (Body Weight under 10 kg)

I) Equipment of Heart-Lung Machine, Method of Extracorporeal Circulation, and Clinical Result

by

LI-MIN MAO

Department of Cardiovascular Surgery, Tenri Hospital.

(Director : Dr. SHUNPEI YAMAMOTO)

The 2nd Surgical Department, School of Medicine, Kyoto University,

(Director : prof. Dr. CHUJI KIMURA)

For the purpose of safety performance of open heart surgery under extracorporeal circulation in severe congenital cardiac disease of infancy and early childhood, variable studies have been done in the selection of artificial heart lung machine and other equipment.

Conclusively, the apparatus of Q130 Temptrol oxygenator studied has the desirable features of low priming volume, high efficiency of gas exchange, low hemolysis rate, efficient antifoaming power, self-contained heat exchanger, disposability and presterilized state of the unit, it is adopted for clinical use in our department. In order to obtain the blood flow rate of 500-1500c.c./min, we have used 3/8 inch I.D. Latex tubing and the Pemco 7 inch roller pump as heart machine. Hemodilution has been employed to reduce the rate of blood replacement. Using Lactated Ringer solution as main perfusate, we have made the dilution to that point, hematocrit in acyanotic group 20-25%, in cyanotic group 30-35%. Hematocrit elevates quickly in the postoperative state under the combined uses of β -stimulant and diuretic. Sixty seven cases of clinical studies under 10kg of body weight have been discussed. The mortality rate of 40 acyanotic cases is 2.5%, and the mortality rate of 27 cyanotic cases is 55.6%. The chief cause of death is due to the severity of the disease. The improvements of the operation technique and the postoperative care are thought to be possible to better the result of the operation. Although high mortality occurred in long perfused cases, there was only one dead case due directly to the performance of extracorporeal circulation.

Having had the experience of successful performance of total body bypass for 125 minutes in our survival cases, it may be concluded that two hours total body perfusion in 6-10kg infant or early child under our technique is safe.

I 緒 言

最近、先天性心疾患の開心根治手術の成績は著しく向上、それに伴ない従来手術不可能とされて来た重症例に対する手術適応の拡大への努力も亦積重ねられつつある。併し、このような重症例の大半は乳児期に死亡するので、その手術成績を向上させるためには、早期診断、手術適応の確立、適切な手術補助手段の考案、更には術後管理の改善等の問題が解決されなければならない。そのためにはなお多くの問題を胎している。特に手術補助手段の如何は成人や学童期の患者とは異なり乳児では特に影響するところが大きい。

乳幼児期開心術の補助手段としては、体外循環法と低体温法があるが、両者の根本的相異点は開心術中に体血流を維持するか否かであり、夫々長所と短所^{1-18, 101, 102)}を有することは周知の如くである。従って両者の長所を生かすため種々の組合わせてその両者を併用する試みがなされている。^{6, 7, 10, 11, 19, 22, 95, 100)}天理病院心臓血管外科では、症例によっては低体温法を主体とした方法を採用することもあるが、大多数の症例では体外循環法を以て対処して来た。われわれは成人及び年長児の開心術に際しては稀釈体外循環法^{70, 71, 72, 74, 93)}によって専ら対処、使用血液の節減、血清肝炎の予防、同種血症候群の防止に努めて来た。そこで乳幼児に於てもこのような方式を駆使応用してみてもと考へ乳幼児の特殊性に鑑み、その際の装置及び体外循環法に更に検討、改良を加えた。本論文は第1篇に於て人工心肺装置、体外循環法及びその臨床成績について述べ、第2篇に於いて稀釈率、体外循環流量の問題、更には急速利尿法についての研究成績を述べ度いと考える。

II 人工心肺装置の撰択

1953年 Gibbon 等によって初めて人工心肺装置による開心術の臨床成功例が得られて以来今日迄、装置の改良、それに伴う安全性の向上は、めざましい進歩の跡が認められる。天理病院に於いても、成人の連合弁膜症に対しては、5時間50分に及ぶ体外循環下で開心術(Temptrol Q₁₀₀ Oxygenator 使用)を行ない救命し得た経験を有しており、現在の人工心肺装置は少なくとも年長児に対しては最早極めて安全な信頼性のあるものとなっている。そこで、それら既存の人工心肺装置の中果してどのようなものが乳幼児体外循環に際し使用してもふさわしいものであるかを更に十分に検討した上、使用することとした。

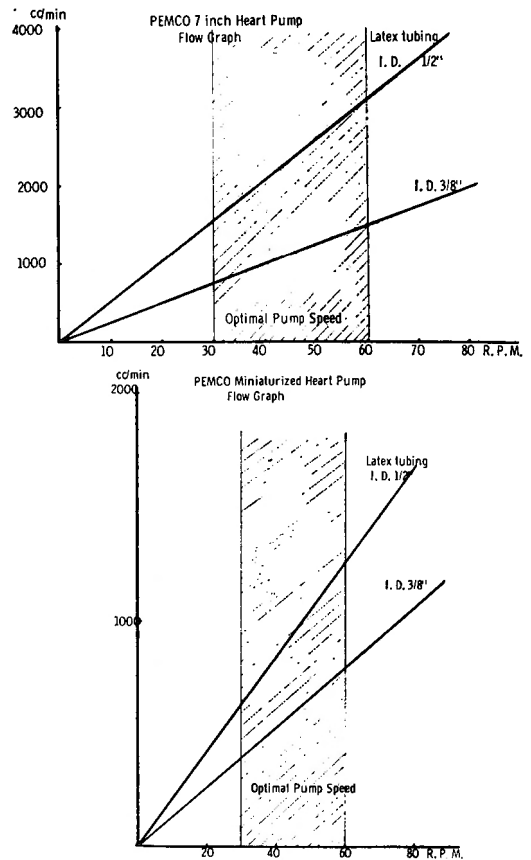


図 1

(1) 人工心

従来から年長者に使用して来た Pemco 社製7吋 Double Roller Pump 及び冠灌流用の Miniaturized Double Roller Pump はラテックスゴムの内径を変えることにより流量を調節することが出来る。そこで、まず乳幼児(10kg以下)体外循環に必要な流量を Roller の至適回転数範囲に於いて得るためには如何なる程度のラテックスゴムを使用すればよいか知る意味で次のような簡単な実験を行なった。

図1は2種類の Double Roller Pump に各種内径のラテックスゴムを用い Roller を just occlusive の状態にした場合の回転数と流量の関係である。7吋 Pump に内径 3/8吋のラテックスゴムを使用すれば 30~60r/min. の至適回転数内において800~1,500 cc/min. の流量が得られ、Miniaturized Pump では内径 1/2 吋のラテックスゴム使用で 500~1,200cc

/min. の流量が得られる。乳幼児体外循環に必要な流量は 500~1,500cc/min. であるから、そのようにすれば何れでもよいが、実際には大多数の症例に於いて 7 吋ポンプ、3/8 吋ラテックスゴムの組合わせて体外循環を行なった。

(2) 人工肺

従来から年長児，成人に使用し良好な成績を得ている Pemco 社製 Disc Oxygenator，循環製 Sheet Oxygenator，Bentley 社製 Temptrol Hard Shell Oxygenator について夫々が果して乳幼児開心術に応用し得るものであるかどうかを再検討した。即ち Disc Oxygenator としては、9 吋円筒に Convolved disc を装填したものを、Sheet Oxygenator としては MUW 型を、Temptrol Oxygenator には、大、中、小の 3 種があるが、その中の小児用の Q₁₃₀ を使用し（図 2），乳幼児体外循環に適する人工肺として、次の如き条件を設定，検討してみた。

- 1) 充填液量の小さいこと
- 2) ガス交換能がよいこと
- 3) 溶血が少ないこと

4) 除泡能がよいこと

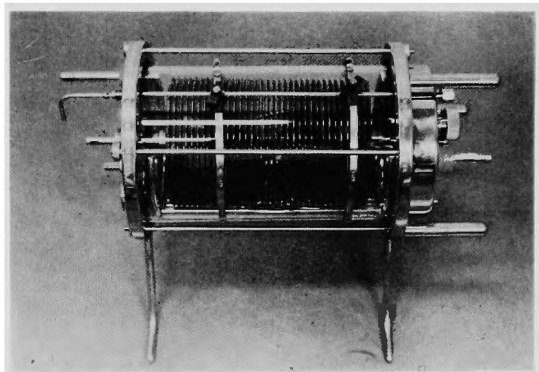
5) 熱交換器の性能がよいこと

6) 組立，滅菌操作が簡単であること，等である。

そして以上の 6 項目に最も適したものが乳幼児に於ける理想的な人工肺と一応見做すこととした。

1) 充填液量の検討

血液置換率を小とするために従来から年長児に対して行なって来た稀釈体外循環を乳幼児開心術に応用



第 2 図 1 Disc Oxygenator



第 2 図 2 Temptrol Q130 Oxygenator



第 2 図 3 MUW Oxygenator

第 1 表

Total Priming Volume With Circuit	
Disc Oxygenator (9 inch) :	1100 c. c.
MUW Sheet Oxygenator :	800 c. c.
Q 130 Temptrol Oxygenator :	550 c. c.

し、且つ体外循環終了後回路内の充填液を再び体内へ全て返納するといった方法を応用するためには、人工心肺装置の充填液量の少ないことが必須の条件となる。然るに実際の臨床に於ける全充填液量を算出してみると表1の如くになり、Temptrol Q₁₃₀ が最小で、次いで MUW、Disc の順となっている。併しMUW 使用時の値は回路内に熱交換器を使用していない時の充填量であり、従ってこれに Pemco 社製小型 Brown -Harrison 型熱交換器を挿入すると、それに更に 250cc を加えたものとなる。現在 Temptrol Q₁₃₀ の回路として図3の如き方式を採用している。

2) ガス交換能の検討

人工肺のガス交換能の評価は臨床的には動脈血 PO₂、PCO₂ を常に正常範囲内に維持し得るか否かによって決定される。血液とガスがテフロン、シリコン等の膜を界して接触する膜型人工肺では、なおこの点について問題が胎されている。他方、血液とガスとが直接に接触する Disc 型、あるいは Bubble 型人工肺ではそのガス交換能は優れているが、血液・ガス界面に於ける血液成分の破壊、蛋白質の denaturation の問題もあり、どうしてもガス流量を可及的に小さくする必要がある。殊に Bubble 型人工肺では Disc 人工肺に比して気泡による血液の攪拌が破壊に拍車を

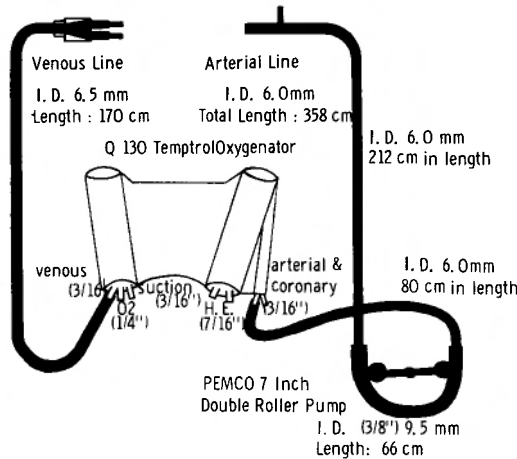
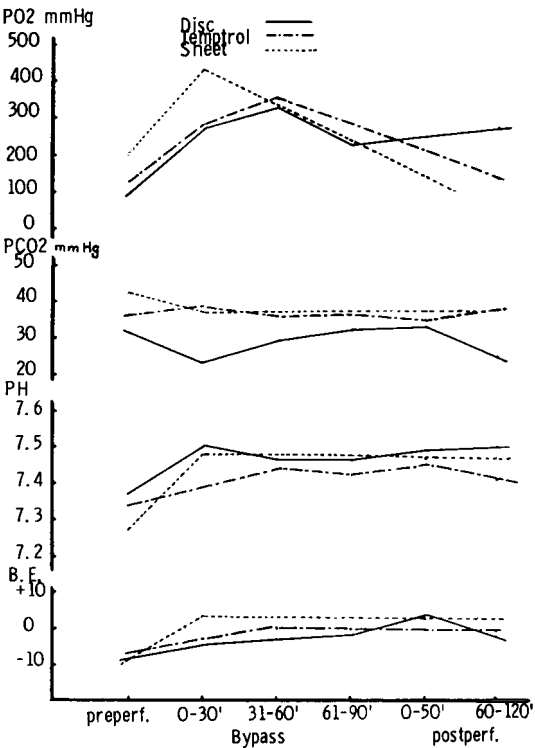


図 3



第 4 図 体重 10.0kg 以下臨床例：
Disc Oxygenator 7 例， MUW. Oxygenator 4 例， Temptrol Q130 Oxygenator 7 例， 人工肺内吹送ガスは 100%O₂ 使用，ガス/血流比はDisc, 5:1; MUW, 3:1; Q130, 4:1

かけるとされている^{27,28,29)}。

図4は体重10.0kg以下の初期の臨床例について上記3種の人工肺を使用した際の夫々の動脈血 PO₂、PCO₂、pH、Base Excess を測定した結果を示す。Disc Oxygenator 使用は7例、MUW 型使用例は4例、Temptrol Q₁₃₀ 使用例は7例で、全て人工肺内への吹送ガスとしては100% O₂ を使用、ガス/血流・流量比は Disc 5 : 1、MUW 3 : 1、Q₁₃₀ 4 : 1 としたが、図4のように何れの人工肺もガス交換能に関しては、充分な酸素化能を有している。唯 Disc Oxygenator 使用では、100% O₂ の吹送に際し PCO₂ が低下する傾向を示す感みがあり、従って長時間の体外循環に際しては適当な CO₂ 添加を行なう必要がある。ために、斯る際には原則として 1.5%CO₂+98.5%O₂ 混合ガスを使用した。

3) 溶血度の検討

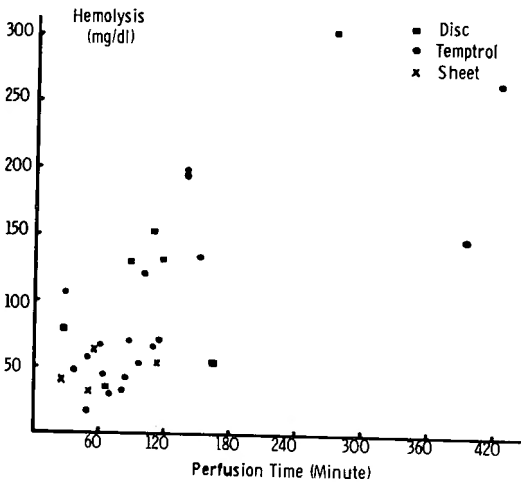


図 5

臨床例に於ける血清ヘモグロビン濃度を灌流時間との関係を示したのが図5である。何れの人工肺でも体外循環時間が2時間以内であればヘモグロビン濃度は略100mg/dl以内に止まっている。溶血の程度を規定する条件としては、個体の赤血球抵抗の如何もさること乍ら、その他、血液希釈、回路材料、人工心、人工肺及び心内吸引等の要因^{27,30-36)}があげられる。従って、例えば Clark 等の Temptrol Q₁₃₀ に於けるモデル溶血実験では、その溶血係数は 0.15mg/100cc としているが、実際は図5のような結果が得られるもので、臨床例では上記のような種々の因子が関与することを教えている。

4) 除泡能の検討

Disc Oxygenator では Disc の回転数を100回転/分以上にあげない限り体外循環回路の動脈ラインに気泡が混入する危険はないが、Bubble Oxygenator では、その除泡能に時間的限界がある、年長児、成人に於ける臨床経験からすると、MUW 型人工肺に於ける除泡能は1本の mixing chamber については約2時間が安全限界と思われる。MUW型は2本の mixing chamber を有しているが、乳幼児ではその1本しか使用しないので灌流の途中で回路を切り換えて別の mixing chamber を使用するようになれば、除泡能に関しては略2倍の能力が得られるものと考えられる。一方 Temptrol Q₁₃₀ では元々除泡能に関しては特に周到な配慮が払われている、即ち Oxygenator の mixing chamber にはシリコンコートされた特殊な polypropylene mesh を用い、ナイロン・ト

リコットフィルターで mixing chamber を包み、更に熱交換器外側にきざまれた溝が debubbler として働くようにしてあるため、その除泡能は優秀で、成人例では約6時間の体外循環を行なってもなお充分な除泡能が維持されていることを経験している。

5) 熱交換器の検討

Disc Oxygenator 及び Temptrol Q₁₃₀ Oxygenator は共に熱交換器を人工肺に内蔵しているが、MUW Oxygenator は内蔵していない、従って MUW Oxygenator は短時間の開心術で、而も低体温併用の必要がない場合には、赤外線照射による保温法程度でよく対処し得るが、長時間の開心術、更には低体温併用の必要があるような際には、どうしても回路内に熱交換器を挿入しなければならない。Temptrol Q₁₃₀ は、disposable oxygenator で、その熱交換器は tin can からなり、その内部には加温冷却水の平等な分布をはかるために小孔を有する polystyrene 製の芯が組込まれている。そして外側の血液接触面は陰イオン荷電の colloidal graphite で coat してある³⁷⁾。このため熱交換能は伝導率のすぐれた 不銹鋼製の熱交換器より稍々劣るようである。そこで Disc Oxygenator に内蔵されている Gebauer 型、MUW Oxygenator の際に挿入する Brown-Harrison 型 更には Temptrol Oxygenator に内蔵されている熱交換器の夫々について、in vitro で 1L/lmin. の流量で灌流しつゝ、夫々の熱交換能を比較、検討した。回路内灌流液の温度を 20°C 熱交換内液を 30°C とした際の熱交換能を示したのが、図6である。この成績からも解るように、Disc Oxygenator に内蔵された Gebauer 型が最も効率がよく、Temptrol Q₁₃₀ がこれに次ぎ、Brown-Harrison 型が最低であった。但し、この際用いた Brown-Harrison 型熱交換器は、本来は冠灌流用に使用する小型（容量250cc）のもの

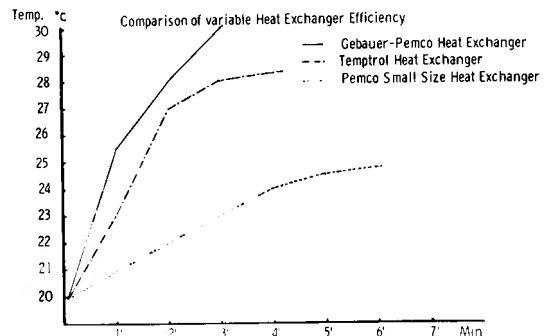


図 6

第2表 人工肺能力の判定

	Disc Oxygenator	MUW Oxygenator	Temptrol Q ₁₃₀
充 填 液 量	可	良	優
ガ ス 交 換 能	優	優	優
溶 血 度	良	優	優
除 泡 能	優	良	優
熱 交 換 器	優	可	良
組立、滅菌操作	可	優	優

であることを断っておきたい。大型熱交換器を用いれば、当然熱交換能はよくなるが、そうなると回路充填液量が増加して 10.0kg 以下乳幼児体外循環には一層不利になるものと考え、特に小型のものについて検討したわけである。

6) 組立、滅菌操作

この点に関しては、disposable oxygenator である MUW 型及び Temptrol Q₁₃₀ が Disc Oxygenator に優っていることはいうまでもない。唯再消毒に際しては、勿論 disposable Oxygenator では、エチレン・オキサライドガス滅菌装置を必要とする。

以上の結果を総合すると表2の如くなり、結局乳幼児体外循環には総合的にみて Temptrol Q₁₃₀ を使用するのが最も合理的と考えられ、以後の臨床例では専ら Temptrol Q₁₃₀ を使用することとした。

Ⅲ 体外循環法

Temptrol Q₁₃₀ Oxygenator を図3のような回路内に装着した際の充填液総量は 550cc である。そして、体外循環終了後短時間内に回路内の充填液の全量を体内に返納するには 30~50cc/kg の水分負荷が限度と考えられる。充填液としては、Lactate Ringer 液を主とし、それにヘパリン及びカルシウムを添加した採血24時間以内の ACD 血を加えたものを使用した。勿論、第2篇で述べる動物実験成績からヘマトクリット値が20%以下にならぬように配慮した。通常 ACD 血充填量は 200~400cc 前後である。

原則として GOF 麻酔下に常温で胸骨正中切開を加えた上心嚢を開き 3mg/kg のヘパリンナトリウムを注入した後、脱血管を右心房から上下の大静脈内に挿入し、送血管は外腸骨動脈または上行大動脈に挿入した、術中は原則として、上下大静脈圧及び動脈圧を観血的

に測定した。体外循環開始前に動脈血の PO₂, PCO₂, pH, Base Excess を測定し、その補正を行なっておく。然る後、初めて部分体外循環を開始し、手術によっては必要に応じて左室ベントを挿入した。灌流量を漸次増大せしめ、予定流量に達した後完全体外循環とする。手術時間が短いことが予想される場合には血流冷却による軽度低体温 (直腸温 33~35°C) 下に体外循環を行なった。青色症その他長時間の体外循環が必要と思われる場合には、中等度の低体温 (25~30°C) を併用した。また、術中必要に応じて 10~15 分の anoxic arrest を繰返し行なったこともある。術野には 1~2L/min. の CO₂ ガスを吹送、体外循環中は原則として 30分毎に動脈血を採血し、PO₂, PCO₂, pH, BaseExcess を測定適宜、THAM, NaHCO₃ を用いて矯正した。そして、完全体外循環終了前に必ず動静脈血の分析を行なった。長時間に亘る体外循環が必要と思われる症例、及び術前から腎機能障害のある症例では、充填液中に予めマンニトールの添加 (0.5g/kg) を行ない尿量の維持に努め、また末梢循環不全例に対しては副腎皮質ホルモンの大量投与 (デキサメサゾン 1mg/kg) を行なった。長時間体外循環中充填液が減少する場合には、原則としてヘパリン加 ACD 血によってそれを補足した。

開心術が終了し心切開創が閉鎖されると部分体外循環に移るが、大動脈遮断を繰返し行なった症例や心不全の傾向が認められる症例では、充分な補助循環を行ない、心筋収縮力の回復を図った。体外循環停止と同時に Alotec (β-stimulant) 0.2~0.3cc の静注を行ない、併せてマンニトール 1g/kg 及び利尿剤 Lasix (Furosemide) 0.5~1.0cc の静注をも行なった。β-stimulant と利尿剤の併用による利尿効果は著明で、それに伴ない人工心肺充填液を急速に体内に返納、

第 3 表

No.	年齢 (月)	性	体重 (kg)	身長 (cm)	体表面積 (m ²)	病 名	人工肺	体外循環時間		最低直腸温 (°C)	生死
								完全体外循 環時間(分)	総循環時間 (分)		
1	11	男	8.0	70.5	0.38	Trilogy of Fallot	Disc	20	25	31.0	生
2	29	女	10.0	84.4	0.47	VSD, ph	Disc	50	65	33.2	生
3	42	男	10.0	84.0	0.47	T. E. (B)	Disc	102	119	30.0	死
4	14	女	9.5	76.0	0.42	VSD, ph	MUW	38	50	36.0	生
5	14	男	6.8	75.0	0.36	TPGV+ASD+ph	Disc	143	161	25.0	死
6	25	女	10.0	80.4	0.45	VSD, ph	MUW	48	55	30.0	生
7	23	男	10.0	84.5	0.47	VSD, ph	Q130	73	78	35.0	生
8	6	男	5.6	63.8	0.30	VSD, ph	Q130	64	84	35.0	死
9	20	女	7.1	73.0	0.36	ASD, VSD, PS	Q130	55	65	35.5	生
10	11	男	5.0	63.0	0.29	TF+MS	Q130	125	208	30.0	死
11	29	女	10.0	79.7	0.45	VSD, ph	MUW	20	23	36.0	生
12	17	女	8.3	78.1	0.41	VSD, ph	Q130	42	46	35.0	生
13	17	女	8.5	73.8	0.40	VSD, ph	Q130	28	46	35.0	生
14	3	男	3.6	—	—	Trilogy of Fallot	Q130	50	60	30.5	死
15	13	男	6.9	72.6	0.36	TPGV+VSD, ph	Disc	204	244	29.5	死
16	24	女	8.5	79.2	0.42	T. F. (B)	Disc	80	106	31.0	死
17	20	男	8.5	72.6	0.40	T. F. (C)	Disc	64	89	31.0	死
18	34	女	10.0	87.5	0.49	Single Atrium	MUW	85	110	32.0	生
19	33	女	9.3	76.2	0.43	T. F. (C) Absence of I-pA	Q130	266	425	30.0	死
20	17	男	9.5	72.0	0.42	VSD, ph	Q130	55	65	33.5	生
21	19	女	10.0	81.0	0.46	VSD, ph	Q130	72	82	35.0	生
22	19	女	8.9	76.3	0.43	VSD+PDA, ph	Q130	20	37	36.0	生
23	10	男	7.2	71.3	0.36	T. F. (D)	Q130	73	88	32.0	生
24	28	女	8.9	79.5	0.42	VSD, ph	Q130	23	28	36.0	生
25	23	男	8.6	76.7	0.41	TPGV+VSD+PS	Q130	308	392	28.5	死
26	18	女	8.6	75.0	0.41	VSD, ph	Q130	55	84	36.0	生
27	11	女	7.8	71.0	0.38	Trilogy of Fallot	Q130	41	112	31.3	死
28	21	女	9.1	79.8	0.44	T. F. (D)	Q130	66	109	30.0	生
29	24	女	9.5	82.2	0.46	Asplenia, Dextro- cardia complicated CHD	Q130	113	137	30.5	死
30	7	女	5.2	60.0	0.28	Complete ECCD+PS	Q130	42	70	28.5	死
31	32	男	10.0	89.2	0.50	T. F. (D)	Q130	70	95	33.0	生
32	11	女	6.7	68.0	0.35	TPGV+ASD+ISVC	Q130	96	137	27.3	生
33	16	男	8.3	70.5	0.39	T. F. (D)	Q130	75	100	31.5	生
34	40	女	9.8	87.0	0.48	T. F. (C)	Q130	123	153	29.8	生
35	19	女	8.5	77.0	0.41	VSD, ph	Q130	48	60	33.0	生
36	28	男	9.8	80.8	0.45	VSD+PS Supravalv, AS	Q130	30	37	34.0	生
37	17	女	7.3	74.0	0.38	VSD+MI, ph	Q130	65	85	31.5	生
38	16	女	8.5	80.0	0.42	T. F. (C)	Q130	125	191	30.0	生
39	8	女	7.6	70.0	0.37	T. F. (C)	Q130	90	120	29.0	死
40	28	女	9.2	80.0	0.44	VSD, ph	Q130	33	38	34.0	生
41	17	男	9.4	80.0	0.45	T. F. (D)	Q130	55	78	30.5	生

(第3表つづき)

No.	年令 (月)	性	体重 (kg)	身長 (cm)	体長面積 (m ²)	病 名	人工肺	体外循環時間		最低直腸温 (°C)	生死
								完全体外循 環時間(分)	総循環時間 (分)		
42	18	男	7.35	74.0	0.38	Double outlet of RV	Q130	196	316	28.0	死
43	13	男	6.8	70.2	0.35	TPGV+VSD, ph	Q130	106	265	28.0	死
44	14	男	6.7	71.5	0.36	A-P Window	Q130	37	55	30.0	生
45	28	男	8.4	81.0	0.42	VSD+ASD, ph	Q130	67	87	33.0	生
46	33	女	8.5	77.0	0.42	T. F. (C)	Q130	65	88	29.0	生
47	24	女	9.5	79.5	0.42	VSD+PS, ph	Q130	44	72	33.0	生
48	17	女	8.3	75.0	0.40	VSD, ph	Q130	36	44	33.0	生
49	22	女	8.2	79.0	0.41	PDA+PS	Q130	100	115	30.5	生
50	21	男	8.1	80.5	0.44	VSD+PS, ph	Q130	60	90	32.5	生
51	20	女	9.0	78.0	0.41	VSD, ph	Q130	22	27	36.0	生
52	13	女	7.7	76.0	0.40	VSD, ph	Q130	25	32	36.0	生
53	12	男	8.5	77.0	0.41	T. F. (D)	Q130	50	73	33.0	生
54	21	男	9.5	81.1	0.45	VSD+PS, ph	Q130	60	73	34.0	生
55	19	男	9.2	77.5	0.44	VSD, ph	Q130	43	52	34.0	生
56	16	女	8.9	79.5	0.43	VSD, ph	Q130	24	29	36.0	生
57	17	男	8.3	77.9	0.41	VSD, ph	Q130	48	58	34.0	生
58	14	男	8.5	74.0	0.38	VSD, ph	Q130	62	80	34.0	生
59	22	男	8.9	78.0	0.43	VSD+ASD, ph	Q130	75	92	30.0	生
60	23	男	10.0	83.0	0.47	VSD, ph	Q130	23	28	34.5	生
61	15	男	9.13	77.5	0.43	VSD, ph	Q130	46	67	34.0	生
62	27	女	9.5	78.6	0.42	VSD, ph A-V block	Q130	68	86	34.5	生
63	39	女	9.5	85.7	0.47	A-P Window+ASD	Q130	50	77	28.0	生
64	20	男	8.6	78.2	0.43	VSD, ph	Q130	60	72	34.0	生
65	32	女	9.4	80.0	0.45	VSD, ph	Q130	76	89	34.0	生
66	19	女	10.0	81.7	0.46	VSD, ph	Q130	64	80	34.0	生
67	21	女	9.6	79.5	0.45	ASD : PS	Q130	55	66	34.0	生

ヘマトクリットの急激な上昇が達成される。ヘマトクリットが30%前後に回復した頃合をねらってプロタミンを投与、ヘパリンの中和を図かった。

要するに、β-stimulant と急速利尿法を駆使、応用、稀釈体外循環を行ない、体外循環終了後速かに充填液の完全返納を図るというのが、われわれの行なっている体外循環法の特徴である。

Ⅱ 臨床成績

昭和42年11月から46年4月に至るまでの3年6ヶ月間に天理病院心臓血管外科で行なわれた先天性心疾患に対する体外循環下開心術症例は507例でその中体重10.0kg以下の乳幼児は67例である(表3)。この中7例ではDisc Oxygenatorを、4例ではMUW

Oxygenatorを夫々使用したが、残りの56例についてはTemptrol Q₁₃₀ Oxygenatorを専ら使用した。最小体重例は3.6kgであり、年令は3ヶ月から42ヶ月に及んでいる。但し乳幼児でも体重10.1kg以上のものについては今回の研究対象からは除外した。このような症例に対しては、原則としてTemptrol Q₁₁₀(中型) Oxygenatorを使用している。体重10.0kg以下の67例中65例は36ヶ月未満であったが、同期中体外循環下開心術の行われた36ヶ月未満乳幼児症例の総数は129例であり、今回の研究対象となった症例は乳幼児の中でも特に重症な症例ばかりが含まれている。

他方同期間中に行われた3才以上の先天性心疾患に対する体外循環下開心術症例は378例でその中死亡は19例、死亡率5.1%となっている。

第 4 表

体重 10.0kg 以下

1 非青色症

病 名	症例数	死亡例数
VSD+ph	27	1
VSD+PS+ph	3	
VSD+PDA+ph	1	
VSD+PS+AS	1	
VSD+ASD+ph	2	
VSD+ASD+PS	1	
VSD+MI+ph	1	
ASD+PS	1	
A-P window	1	
A-P window+ASD	1	
PDA+PS	1	
計	40	1 (2.5%) 死亡率

2 青色症

病 名	症例数	死亡例数
T. F.	14	5
T.F+MS	1	1
Trilogy of Fallot	3	2
TPGV	5	4
PS+A-V canal	1	1
Single Ventricle	1	1
Single Atrium	1	
Asplenia syndrome		
Dextrocardia+Complex CHD	1	1
計	27	15 (55.6%) 死亡率

3 総 計

67 16
(死亡率23.8%)

36ヶ月未満（体重 10.1kg 以上）

1 非青色症

病 名	症例数	死亡例数
VSD (ph)	37	1
VSD+ps	2	
VSD+AI	1	
VSD+MI	1	
VSD+A-V block	1	
ASD	5	
ASD+ps	1	
ASD+A-V block	1	1
PS	2	
計	51	2

2 青色症

病 名	症例数	死亡例数
T. F.	12	2
Single ventricle	1	1
	13	3
3 総 計	64	5 (死亡率7.8%)

第 5 表

完全体外循環時間	症例数	死亡例数	死亡率
30分以下	10	0	0
31 ～ 60分	25	3	12%
61 ～ 90分	19	4	21%
91 ～120分	5	3	60%
120分以上	8	6	75%

36ヶ月未満で、而も体重 10.1 kg 以上の開心術症例は 64例で、その中死亡は 5 例死亡率 7.8% となって居り、この両者の間には大差がない。併し、体重 10.0kg 以下の67例では死亡が16例あり、死亡率 23.8% となって居り、前二者に較べてその死亡率が高い。これを更に非青色症群と青色症群に別けてみると（表4）、非青色症群では40例中死亡は僅かに 1 例のみで死亡率は 2.5 % であるのに対し、青色症群では27例中死亡は15

第 6 表

症例番号	年齢(月)	性	病 名	完全体外循環時間(分)	死亡時間(術後)	死 因
3	42	男	TF (B)	102	18 時間	気 道 閉 塞
5	14	男	TPGV+ASD, ph	143	24 時間	肺合併症, 脳水腫
8	6	男	VSD, ph	64	20 時間	肺 合 併 症
10	11	男	TF + MS	125	術 直 後	心 不 全
14	3	男	Trilogy of Fallot	50	術 直 後	心 不 全
15	13	男	TPGV+VSD, ph	204	20 時間	A-Vブロック, 肺合併症
16	29	女	TF (B)	80	5 日	出 血, L O S
17	20	男	TF (C)	64	9 日	激 症 肝 炎
19	33	女	TF (C) Absence of l-PA	266	術 直 後	T. F.
25	23	男	TPGV+VSD+PS	308	術 直 後	T. F.
27	11	女	Trilogy of Fallot	41	術 直 後	心 不 全
29	24	女	Asplenia, Dextrocardia Complicated CHD	113	6 時間	肺 水 腫
30	7	女	Complete ECCD+PS	42	4 時間	L O S
39	8	女	TF (C)	90	12 時間	A-Vブロック, 肺合併症
42	18	男	Double Outlet of RV	190	術 直 後	T. F.
43	13	男	TPGV+VSD, ph	106	10 時間	肺 水 腫

T. F. technical failure

LOS low cardiac output syndrome

例で死亡率は55.6%にも達している。即ち乳幼児でも非青色症群では年長者と同じように安全に開心根治手術を行ない得るのに対し、この様な時期で、既に手術の対象となる重症青色症群では、なほ多くの問題が胎されていることを示唆している。

そこで、更に全症例について完全体外循環時間の如何により分類観察してみた(表5)。然るに30分以下の体外循環例10例では死亡0、31~60分の25例では死亡率12%、61~90分の19例では12%、91~120分の5例では60%、120分以上の8例では死亡率75%に達していることが判明、長時間に亘たる体外循環を要したものの程死亡率の高いことが明らかとなった。併し詳細に検討してみると、長時間に亘たる体外循環を要した群には青色症が多く、その為に死亡率が高くなって居り、長時間の体外循環そのものが死因に結びついているものとは必ずしも断言出来ない成績になっている。そこで16例の死亡例の死亡時期とその死因を検討してみると更に一層明らかとなり(表6)、心不全及びlow cardiac output syndrome が殆んどその死因のすべてであった。即ち、心内畸型の修復が充分になされ得なかったか、あるいは術前からの強度の心不全が術後も改善され得なかったための結果と考えられ疾病の重症度が最も大きい因子と考えられる。

V 考 案

重症乳幼児心疾患に対する体外循環下開心術を安全に行なうために、まずその装置の検討を行なったが、人工心としては、現在臨牀的に最も多く使用されている Double Roller type を用いることにした。血行動態の面から特に長時間体外循環の際には、pulsatile flow が non-pulsatile flow に比して低流量、あるいは低血圧でも末梢循環を良好に維持し、腎機能の低下を招来しない等多くの利点³⁸⁻⁴⁷⁾を有するとの報告もあるが、年長児、成人の臨牀例では一応 non-pulsatile flow でも満足すべき結果が得られているし、pulsatile flow が生体内で満足すべき波形を保つためには送血回路にも充分な配慮を要し、乳幼児で理想的な pulsatile flow を得ることは實際上仲々困難であろう。従って、現時点では、乳幼児に於いても non-pulsatile flow による体外循環を行なっているが、120分以内の体外循環では略満足すべき結果が得られた。

血液成分破壊の面で人工心の占める役割は人工肺及び心腔内吸引操作に較べれば小さいものといわれている⁸⁸⁾ Roller type の人工心での血液破壊の程度は Roller の Stroke 数に比例するとされており、この

意味では Double Roller よりも Single Roller の方が優れているものと思われる。併し Single Roller ではラテックス・ゴムチューブを使用し、occlusive pump として使用する場合機構的に Roller の回転が円滑に行われにくいこと、軸に無理がかかる等の欠点がある。

Double Roller Pump を使用する場合には、必要流量を得る回転数が多過ぎないようにラテックス・ゴムの内径を撰択する必要がある、回転数 60 回転/分以下で必要流量が得られるようにした。この際乳幼児に必要な流量は 500~1,500cc/min. と一応推定したが、その理由は、体重 5~10kg の乳幼児の normal basal flow は 200~170cc/kg/min., 直腸温 33~35°C の低体温下では 100~150cc/kg/min. という Peirce⁴⁸⁾ 等の意見、及び第 2 篇に述べるように、年長児に於ける 稀釈体外循環（直腸温 35°C）の必要流量は 2.4 L/m²/min. であり、体表面積 0.3~0.5m² の乳幼児に換算すると丁度 500~1,500cc/min. になるためである。

人工肺について検討した 6 項目の中 1) の充填流量が小なることという条件以外については乳幼児に限らず人工肺全般についてい、得る具備すべき必要条件である。充填流量を可及的に小ならしめることは、体外循環終了後の血液置換率を最小にとめるためにも必要な条件である。

従来、乳幼児の体外循環に際しては、一般に Disc Oxygenator を用いている場合が多いが、これは Bubble type よりも Disc type の方が安全であるという先人の意見⁴⁹⁻⁵⁵⁾ によるものであろうが、併し今回の実験成績よりすると Temptrol Q₁₃₀は、以上のような条件のすべてを略々満足せしめるものであり、Disc Oxygenator よりも寧ろ乳幼児体外循環には適切なものであるとの結果が得られたのである。

稀釈体外循環を安全に行なうためには勿論高流量による体外循環が望ましい（第 2 篇参照）そのための血液破壊を出来るだけ少なくするためには結局最近に至り開発された膜型人工肺を導入するのが一番よいことはいうまでもない。

Temptrol Q₁₃₀ の如く disposable Oxygenator は組立、滅菌操作が簡単で、器具に介する感染等の問題が少ない点では Disc Oxygenator よりも明らかに優れているが、一方では大量生産により製品に若干のむらのあることは避けられず、血液酸素化能力、熱交換器の能力その他に幾分のばらつきが認められるという欠点のあることは否定し得ない。従って、使用前に

充分点検を行なうことと 30 分毎に血液ガスを monitor し必要に応じてガス流量、血流量、血液温等を調整するように努めなければならない。

乳幼児に対して、体外循環下に開心術を行なうと、確かにその手術死亡率は年長児に比して高い。そのよって来たる所以は、先人のいうように、やはり疾患の重症度にあると考えられる^{49,59)}。併し肺高血圧症を伴う心室中隔欠損症を主体とする非青色症群の手術成績は年長児、成人のそれに較べて全く遜色のないものであった。これらの疾患の多くは生後 6 ヶ月以内に重篤な肺合併症、心不全を来とし、発育障碍も強く自然死亡率が高いとされて来た^{59,97)}。然るに最近の小児科的治療の進歩によって、この最も危険な時期を乗り切って、1 才前後迄保存的療法のみによって延命せしめることも多くの例で可能となり、この時期に至って初めて根治手術を行えばよいようになった関係もあり、その手術成績が一段と良好になったものと考えられる。而も術後の low cardiac output syndrome、肺合併症による死亡が殆んどみられないことは、1 時間前後の稀釈体外循環が少なくともこの時期の非青色症群に対しては全く安全なものであることを示している。

併し、これに反して青色症群では、術前から高度の多血症を有するものの中には、既に心不全状態に陥っているもの、肺血管系の発育不全が著明なもの、心内畸型が複雑なものが多く、開心術によっても血行動態の面で完全な治療状態が招来され得ず、ために術後、low cardiac output syndrome を来す症例が多いようである。更にこのような症例では、狭い心臓内での複雑な手術手技が要求されるために長時間の体外循環を必要とし、また心停止時間も長びく等の問題もある。そのような意味で、特に体重 5kg 以下の複雑心畸型の手術には、現状ではむしろ超低体温^{22 56-58)} 下に完全な血流遮断を施こし、開心術を行なう方が、安全且つ確実な手術操作を施こし得るように思われる。

Ⅶ 結 語

重症乳幼児心疾患に対する体外循環下開心術を安全に行なうために、装置、とりわけ人工肺の撰択にあたって種々の検討を加えた。

この結果、1) 充填量が小さく、2) ガス交換能が優れ、3) 溶血が小で、4) 除泡能がよく、5) 熱交換器を内蔵し、6) disposable で組立、滅菌の簡単な Temptrol Q₁₃₀ Oxygenator を使用することとした。人工心としては Pemco 7 吋 Double Roller

Pump に内径3/8時のラテックス・ゴムを使用し 500～1,500cc/min. の流量を得た。

血液置換率を小とするため Lactate Ringer 液を主体とする稀釈液を用いて非青色症では、ヘマトクリット20～25%，重症青色症では、ヘマトクリット30～35%を目標として稀釈し， β -stimulant と利尿剤の使用により，術後短時間内にヘマトクリットを上昇させる（第2篇参照）。

体重 10.0kg 以下の67例の臨床成績を検討した。非青色症40例での死亡率は 2.5% であったが，青色症27

例での死亡率は55.6%に達した。死因は疾患の重症度に起因するものが大部分であったが，手術手技，術後管理の改善によって手術成績を向上せしめ得るものとする。長時間体外循環を要した症例に死亡率が高いが，死因に体外循環が直接結びつくものは1例にすぎなかった。完全体外循環時間 125分の症例で生存例を得ており，著者等の方法で，少なくとも体重 6～10kg の乳幼児に於いて 120分の完全体外循環は安全に行ない得るものとする。