

小児の体外循環および限外濾過における 新しい充填液の使用経験

鈴木 章司¹⁾, 樋口 浩二³⁾, 吉井 新平¹⁾, 保坂 茂¹⁾
大澤 宏¹⁾, 明石 興彦¹⁾, Abraham Samuel¹⁾, 石山 忠彦²⁾
多田 祐輔¹⁾

山梨大学医学部第二外科¹⁾, 麻酔科²⁾,
山梨大学医学部附属病院MEセンター³⁾

Key words :

小児体外循環, 限外濾過, 充填液, 電解質
管理

Clinical Experience with New Priming Solution for Cardiopulmonary Bypass and Supplementary Solution for Modified Ultrafiltration in Children

Shoji Suzuki,¹⁾ Hiroji Higuchi,³⁾ Shinpei Yoshii,¹⁾ Shigeru Hosaka,¹⁾ Hiroshi Osawa,¹⁾
Okihiko Akashi,¹⁾ Abraham Samuel,¹⁾ Tadahiko Ishiyama,²⁾ Yusuke Tada¹⁾

Departments of ¹⁾Surgery and ²⁾Anesthesiology, Faculty of Medicine, University of Yamanashi
³⁾ME Division, University of Yamanashi Hospital, Yamanashi, Japan

Background: Solutions made of various components have been used to prime cardiopulmonary bypass circuits and to supplement fluid during modified ultrafiltration (MUF). We used Sublood-B™, which was originally developed for hemodialysis, in the above procedures, and retrospectively examined the usefulness of this new method.

Patients and Methods: Seventy-eight children weighing less than 20 kg who underwent open-heart surgery during the period from March 1999 to February 2001 were classified into four groups in sequence, and in each group different solutions were used. Perioperative levels of serum electrolytes were compared among the groups. We also reviewed 96 consecutive patients (< 20 kg) who underwent open-heart surgery after the introduction of Sublood-B™ in April 2000.

Results: This method had an optimal effect on postoperative electrolyte levels, with Na⁺ and K⁺ 135.7±4.6 and 3.6±0.6 mEq/l, respectively. Among the 96 patients, including 12 neonates, weaning from bypass was unsuccessful in only two; however, the causes of failure were not directly related to the use of this solution. This method showed satisfactory results in terms of cardiac function, respiratory function, and systemic edema.

Conclusion: The use of Sublood-B™ in cardiopulmonary bypass and MUF is safe and easy, and yields satisfactory results. It is recommended for use in current cardiopulmonary bypass procedures in children.

要 旨

背 景：小児体外循環法の進歩に伴い、時代に則した体外循環充填液、限外濾過(modified ultrafiltration: MUF)補液が求められている。われわれは、これらに人工透析用補液であるサブブラッド-B™(以下S液)を順次導入してきたので、その妥当性を評価することを目的とした。

方 法：1999年3月～2001年2月に開心術を施行した体重20kg以下の症例78例を経時的に4群に分類し、体外循環充填液、MUF補液の違いが術後早期の電解質値に及ぼす影響を比較検討した。また、S液による回路充填を開始した2000年4月以降2002年10月までの体重20kg以下の全開心術症例96例(新生児12例を含む)の臨床成績を後方視的に検討した。

結 果：術後早期のNa⁺, K⁺値は、当科における従来の低Na⁺液を用いた方法に比べて良好に維持され、両者にS液を使用した場合、ICU入室時にはNa⁺値135.7±4.6mEq/l, K⁺値3.6±0.6mEq/lと良好であった。また96例の臨床成績では、本法に直接起因しないと考えられる2例の体外循環離脱不能例を認めたのみであり、術後の心機能、呼吸機能、全身浮腫において満足すべき結果が得られた。

結 論：体外循環充填液、MUF補液にS液を使用する方法は、安全でかつ術後早期の電解質管理を容易にし、現在の小児体外循環における一つの選択肢になると考えられた。

平成14年12月10日受付

別刷請求先：〒409-3898 山梨県中巨摩郡玉穂町下河東 1110

平成15年11月17日受理

山梨大学医学部第二外科 鈴木 章司

はじめに

人工心肺装置の進歩や灌流技術の向上により、現在では小児においても安定した体外循環に基づいた開心術が行われている。しかし、技術的にすでに確立されたかみえる一方で、低充填量回路や分離型人工心肺装置による無輸血(同種血非使用)開心術の普及、常温や normoxic¹手術にみられる低侵襲化への取り組み等の新たな検討課題も出現し、体外循環法にはむしろ施設間での相違、多様性が生じているのが現況である。したがって、体外循環中の電解質、酸塩基バランスに大きな影響を及ぼす体外循環回路の充填液にも、その施設の考え方や時代に即したものが求められるようになってきた。また、体外循環時の血液希釈に対しては、dilutional ultrafiltration(DUF)²や限外濾過(modified ultrafiltration: MUF)³が広く行われているが、これらの補液の選択も重要となっている。

われわれの施設でも、多くの小児開心術が常温に近い状態(tepid)で行われるようになり、術中の重炭酸塩の追加が激減した。また、感染予防の見地から新鮮凍結血漿(FFP)もほとんど使用されなくなった。加えて、医療事故防止のための手技の簡略化も求められている。このような状況のなかで、人工透析用に開発されたサブブラッド-B™(Sublood-B™, 扶桑薬品工業社, 以下S液⁴)を、新しい体外循環回路充填液、MUF補液として使用してきたので、その妥当性、安全性について検討し報告する。

当施設における小児体外循環の変遷

われわれは1984年3月に開心術を開始し、以来一貫して低Na⁺の院内製剤であるCPB solution(以下C液, Fig. 1)を体外循環回路の初期充填に用いてきた。しかし、気泡型人工肺、大型回路を用いた落差脱血、保存血を常用していた時代に開発されたC液は、最近の体外循環においては問題が多くなり、特に術後に低Na血症を呈する症例が増加してきた。そこで、2000年4月より充填液をS液(Fig. 1)に変更した。また、1999年12月よりMUFを導入し、当初は生理食塩水を補液として濾過を施行、2000年11月からはS液に切り替えた。

現在の体外循環法は、遠心ポンプ脱血方式で、(動脈フィルター、静脈リザーバー、遠心ポンプを含む)最小充 液量342mlのコーティング回路を用い、予測ヘマトクリット(Hct)値が15%以上の時に無血充填を行っている。α-statに基づいてpHを管理し、混合静脈血酸素飽和度(SvO₂)が50%以上となるように灌流量と温度を調節しているが⁵⁾、多くの手術は最低直腸温32~34°C程度の

tepid conditionで行われている。また可及的に血中酸素分圧(PO₂)を低め(100~150mmHg)に維持する、いわゆる normoxic perfusionとしている。心筋保護液は全例cold blood cardioplegiaで、5% グルコース 400ml、生理食塩水 100ml、1mol KCl 30ml、7% NaHCO₃ 70ml、2% リドカイン 100mgからなる原液 1 に対し、酸素化血液を 2 の割合で混和し、通常10ml/kg体重を20~30分間隔で投与している。MUFは、熱交換器付きの回路とポリスルホン膜(テルモ社製ヘモコンセントレーターCX-HC 05S)を用い、大動脈脱血、下大静脈(または右房)返血のシステム構成で、原則的に小児では全症例に15分間行っている。輸血の指標にも同様にSvO₂ 50%以上を用いており、Hb値でみると最低値でおおむね5.5g/dl程度となっている。

対象および方法

1. 検討 1

まず、当科で体外循環法の過渡期にあった、1999年3月~2001年2月の症例のうち、SS回路(充填液量342ml)とS回路(充填液量497ml)が適応となる体重20kg以下の小児例を対象とした。このうち術中・術後の電解質データが追跡可能であった78例を経時的に以下の4群に分類し、術中から術後早期の電解質測定値を比較検討した。すなわち、1群は低Na⁺の院内製剤であるC液(マンニトール追加後の最終Na⁺ 99mEq/l)により回路の充 を行い、MUFを施行しなかった群(n=20, SS回路: 10, S回路: 10)。2群はC液充填で、生理食塩水にてMUFを施行した群(n=14, SS回路: 9, S回路: 5)。3群はS液(マンニトール追加後の最終Na⁺ 107mEq/l)充填で、生理食塩水にてMUFを施行した群(n=16, SS回路: 9, S回路: 7)。4群は、S液充填、S液濾過MUF施行群である(n=28, SS回路: 16, S回路: 12)。なお、平均体外循環時間は、1群91.7±33.7分、2群157.2±75.8分、3群88.3±33.1分、4群100.3±34.3分であり、2群においてやや体外循環時間が長い傾向があった。電解質測定は同一の装置(術中: NOVA社製Stat profile 9, 術後: Radio-meter社製ABL 505)を用い、統計学的処理はSAS Institute社製StatView™ 5.0を用いてt検定した。

2. 検討 2

S液による回路充填を開始した2000年4月より、2002年10月までに開心術を施行した体重20kg以下の小児全症例、96例を対象に、術後の臨床経過を検討した。年齢別では、新生児12例、乳児38例、3歳未満の幼児26例、3歳以上の幼児・学童20例で、体重は1.9~18.1kgであった(Table 1)。疾患別では、左右短絡疾患54例、2心

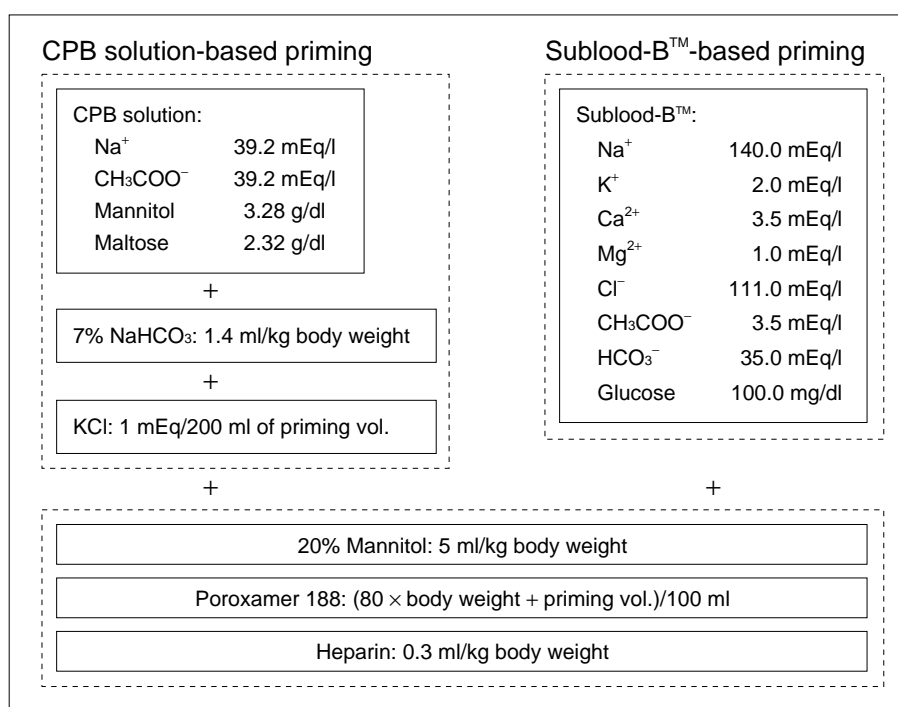


Fig. 1 Comparison of ingredients. Sublood-B™ contains acetate, less glucose and bicarbonate, and a Na⁺ level adjusted to a relatively high level, similar to extracellular fluid. Six different solutions had to be mixed to obtain the previously used priming solution, whereas the new solution has only four components, simplifying the process of priming. CPB: cardiopulmonary bypass, vol: volume

室を有するチアノーゼ型心疾患18例，単心室型血行を有する症例17例等，であった(Table 2). 安全性，妥当性を評価する総合指標として，人工心肺からの離脱の可否，心房中隔欠損閉鎖術，心室中隔欠損閉鎖術後のカテコラミン投与の有無，心室中隔欠損閉鎖術，Fallot 四徴症心内修復術，右心バイパス型手術後の挿管期間，総肺静脈還流異常修復術，動脈スイッチ(Jatene)手術時の一期的胸骨閉鎖の可否を調査した。

結 果

1. 結果 1

1, 2 群では，ICU入室時のNa⁺，K⁺値に有意差はなく，ともに低Na(129.9±5.5mEq/l，128.7±7.9mEq/l)を呈した．3 群ではMUF終了直後のNa⁺ 132.1±2.7mEq/l，K⁺ 3.0±0.2mEq/l，ICU入室直後のNa⁺ 139.6±3.5mEq/lであったが，5 例(31.3%)に143.0mEq/l以上の高Na血症を認めた．4 群ではMUF終了直後のNa⁺ 129.8±4.6mEq/lとやや低めであったが，ICU入室時には135.7±4.6mEq/lまで上昇して，術後の電解質管理は容易であった．また，K⁺値は，MUF終了時3.4±0.5mEq/l，ICU入室時3.6±0.6mEq/lと3 群に比し有意に高く，適正であった．

Table 1 Age and body weight distribution of patients

	Number of patients	Body weight
Neonate	12	2.1–3.6 (2.7±0.6) kg
Infant	38	1.9–9.2 (4.9±2.0) kg
Child (1 yo<, <3 yo)	26	5.3–12.7 (9.6±2.1) kg
Child (3 yo up)	20	9.4–18.1 (14.4±2.7) kg

Ninety-six pediatric patients were operated using Sublood-B™-based priming solution for cardiopulmonary bypass, as shown yo: years old

Ca²⁺値については，有意差はなかった(Table 3). また，人工心肺終了時の動脈血ガス分析では，1 群：pH 7.45±0.08，BE 2.5±4.3，2 群：pH 7.39±0.09，BE 0.4±2.9，3 群：pH 7.50±0.12，BE 4.8±5.7，4 群：pH 7.41±0.06，BE 2.0±2.3と，アシドーシスはみられなかった．人工心肺に引き続いてMUFを施行した症例におけるMUF継続時間は16.9±0.7分，除水量は502.3±25.0mlで，Hctの上昇は7.3±0.8%であった．MUF終了時の動脈血ガス分析では，2 群：pH 7.44±0.09，BE 2.7±3.4，3 群：pH 7.48±0.11，BE 3.3±4.4，4 群：pH

Table 2 Clinical diagnosis of patients

ASD±α	26
VSD±α	19
AVSD	3
CoA complex	5
APW	1
TOF, PA/VSD, DORV/PS	11
TAPVD (with two ventricles)	5
TGA/IVS	2
HRHS, Ebstein	5
HLHS	2
SV/TAPVD	2
SV	8
MR (congenital)	3
DCM	1
Tumor, thrombus	3

Among the 96 patients shown, 12 patients underwent palliative procedures (excluding Fontan operation and Batista operation)

ASD: atrial septal defect, VSD: ventricular septal defect, AVSD: atrio-ventricular septal defect, CoA: coarctation of the aorta, APW: aorto-pulmonary window, TOF: tetralogy of Fallot, PA: pulmonary atresia, DORV: double-outlet right ventricle, PS: pulmonary stenosis, TAPVD: total anomalous pulmonary venous drainage, TGA: transposition of the great arteries, IVS: intact ventricular septum, HRHS: hypoplastic right heart syndrome, HLHS: hypoplastic left heart syndrome, SV: single ventricle, MR: mitral regurgitation, DCM: dilated cardiomyopathy

7.44±0.06, BE 1.7±3.4であり, 3群の1例にのみ補正を要するアシドーシス(pH 7.24, BE -8.4)を認めた. これらのpH, BEの値には各群間で有意差はなかった.

2. 結果 2

術中のS液の平均使用量は493.7±159.0mlであった. 体外循環離脱不能例は2例あり, いずれも開心姑息術

後の症例であった. 1例は術前より両側主気管支に狭窄があった症例で, 換気不全のため4日間の補助循環を要したが, 離脱して軽快退院に至った. 他の1例は出生時にすでに肺静脈閉塞を来していた単心室, 総肺静脈還流異常, 他を合併したheterotaxia症例で, 心臓マッサージ下に手術室に搬送して総肺静脈還流異常の修復をしたが循環不全のため体外循環から離脱できず, 17日間の補助循環後死亡した(Table 4).

術後のカテコラミンは肺高血圧のない左右短絡疾患ではほとんど不要であった. 術後挿管時間は, 肺高血圧のない心室中隔欠損症, Fallot四徴症, 右心バイパス手術では比較的短く, 平均で3.2~6.7時間となった. 一方, 肺高血圧(Pp/Ps>0.5)を伴う心室中隔欠損症では, 平均22.5時間であった. なお, 肺高血圧クレーゼを来した症例はなかった. また, 総肺静脈還流異常修復術, 完全型大血管転位症に対する動脈スイッチ(Jatene)手術においては, 85.7%の症例で一期的胸骨閉鎖が可能であった(Table 5).

考 察

無輸血, 常温, normoxic¹⁾, DUF²⁾, MUF³⁾, 等の新しい概念の登場や, ヘパリンコーティング⁶⁾等の技術革新により, 小児の体外循環法はむしろ多様化の方向にある. したがって, いずれの施設においても時代に即したさまざまな変更が行われ, 独自の体外循環法が築かれているものと思われる⁷⁾. たとえば, 体外循環回路の充液も古くて新しい問題と思われるが, このような観点からの最近の報告は少ない. 酢酸リンゲル, 乳酸リンゲル, hydroxyethyl starch, アルブミン, FFP, 等の選択やステロイド, インスリンの添加は, やはり施設間でまちまちなのが現況であろう⁸⁾. われわれの施設においても体外循環法の改良を重ねてきたが, 前述のよ

Table 3 Comparison of postoperative electrolyte levels

	After MUF			At ICU arrival			
	Na ⁺ (mEq/l)	K ⁺ (mEq/l)	Ca ²⁺ (mEq/l)	Na ⁺ (mEq/l)	K ⁺ (mEq/l)	Ca ²⁺ (mg/dl)	Hct (%)
Group 1				129.9±5.5	3.4±0.5	8.3±0.8	30.4±7.1
Group 2	119.9±9.0	3.2±0.3	0.94±0.11	128.7±7.9	3.7±0.8	8.7±2.4	33.9±6.5
Group 3	132.1±2.7	3.0±0.2	1.04±0.09	139.6±3.5 [#]	3.2±0.4 [#]	8.5±0.8	31.5±6.3
Group 4	129.8±4.6	3.4±0.5 [*]	1.08±0.09	135.7±4.6 [*]	3.6±0.6 ^{**}	8.6±0.8	34.1±8.8

Group 1 (n=20) was given "CPB solution" for cardiopulmonary bypass and operated without doing MUF. Group 2 (n=14) was given "CPB solution" for bypass and saline was used as a supplementary solution for MUF. Group 3 (n=16) was given Sublood-BTM for bypass and saline for MUF. In Group 4 (n=28), Sublood-BTM was used in both procedures.

*p<0.01, **p<0.05

Na⁺>143.0mEq/l in 5 patients of Group 3

MUF: modified ultrafiltration, ICU: intensive care unit, Hct: hematocrit

Table 4 Summary of the clinical use of Sublood-B™ and surgical results

Total volume of priming solution (Sublood-B™ as base): 648.2±115.8 ml
Volume of Sublood-B™ used as base: 493.7±159.0 ml
MUF time: 16.3±3.8 min
Volume of filtrate: 497.5±168.0 ml
Failure of weaning from CPB: 2 cases
- 3 mo, B.W. 2.6 kg
Diagnosis: PA, VSD, bronchomalacia, bilateral bronchial stenosis
Procedures: RMBTS, PDA division
Cause of failure: respiratory failure
- 1 day, B.W. 3.1 kg
Diagnosis: heterotaxia, SV, PS, TAPVD (supra-cardiac), PVO, lung hypoplasia
Procedures: TAPVD repair
Cause of failure: LOS and MOF
Among the 96 patients, weaning from cardiopulmonary bypass was unsuccessful in two; however, the causes of the failure were not directly related to the solution
MUF: modified ultrafiltration, CPB: cardiopulmonary bypass, mo: months, B.W.: body weight, PA: pulmonary atresia, VSD: ventricular septal defect, RMBTS: right modified Blalock-Taussig shunt, PDA: patent ductus arteriosus, SV: single ventricle, PS: pulmonary stenosis, TAPVD: total anomalous pulmonary venous drainage, PVO: pulmonary venous obstruction, LOS: low output syndrome, MOF: multiple organ failure

Table 5 Postoperative course

Rate of catecholamine infusion in postoperative patients	
ASD closure (Pp/Ps 0.5)	18.2% (4/22)
ASD closure (Pp/Ps > 0.5)	75.0% (3/4)
VSD closure (Pp/Ps 0.5)	0% (0/8)
VSD closure (Pp/Ps > 0.5)	90.9% (10/11)
Postoperative mechanical ventilation in ICU	
VSD closure (Pp/Ps 0.5)	3.4±1.4 (2.3–6.5) hrs.
VSD closure (Pp/Ps > 0.5)	22.5±22.1(3.5–66.5) hrs.
TOF repair	3.2±1.0 (1.3–4.0) hrs.
TCPC, one and a half, BDG	6.7±4.6 (2.0–14.0) hrs.
Primary sternal closure	
TAPVD repair, arterial switch	85.7% (6/7 pt.)

Frequency of catecholamine infusion, duration of mechanical ventilation in the postoperative period in the ICU, and rate of successful primary sternal closure are shown. Use of this solution yielded favorable effects in terms of cardiac function, respiratory function, and systemic edema. ASD: atrial septal defect, Pp/Ps: pulmonary to systemic pressure ratio, VSD: ventricular septal defect, ICU: intensive care unit, hrs.: hours, TOF: tetralogy of Fallot, TCPC: total cavopulmonary connection, BDG: bidirectional Glenn's operation, TAPVD: total anomalous pulmonary venous drainage, pt.: patients

うに術中のNa⁺補充の減少とそれに関連した術後の低Na血症や膠質浸透圧の変化が最大の問題となったため、細胞外液に近い電解質組成と適度な重炭酸塩、酢酸、生理的濃度のブドウ糖を含有するS液への変更に踏み切った⁹⁾。

体外循環充液の臨床的評価は、特に小児では疾患、病態が多様なため容易ではない。特に、われわれは経時的に充液の変更をしてきたうえ、現行の方法に良い印象を持っていたため新たなrandomized studyには倫理的な問題があった。そこで今回は、まず検討1と

して、われわれが過去に行ってきた4つの方法が術後早期の電解質管理へ及ぼした影響を比較検討した。次いで検討2において、S液の使用が、安全性の面で問題ないか、総合的にみて妥当と判断できるかを臨床例において検証した。体内水分バランスや臓器浮腫の評価にあたっては、A-aD_{o2}等の検討も重要と考えられるが、今回の後方視的検討ではこうした指標は測定されていなかった。そこで、心筋や肺実質に浮腫があれば必ず影響を受けると思われる術後のカテコラミン投与や挿管期間を間接的な指標にすることとした。また、全身の浮腫については侵襲が大きい手術時の一次的胸骨閉鎖の可否をみることにし、前述のような検討を行った。

術中の電解質が麻酔科医を中心に可能な限り適正となるように管理されているのは言うまでもない。また、心筋保護液の投与回数や輸血の有無等、電解質値に影響を与える他の因子も存在する。にもかかわらず、検討1においては体外循環充填液やMUF補液による違いがみられ、4群で良好な電解質値が得られた。術中のK⁺値の補正は、DUFやMUFが可能な現在、比較的短時間に行うことができ、尿量が維持されている限りは術後管理においても容易である。一方で、血中Na⁺管理では、特に高Na血症となった場合にはそのwash outにかなりの時間を要し、管理に難渋することが多い。われわれは体外循環中にマンニトールを使用しているため、術直後の利尿によって血中のNa⁺値は上昇する傾向があり、体外循環終了時にはNa⁺値を低めに維持する必要がある。この点においても、S液の使用は有用であった。なお、3群においてみられた高Na血症の症例は、partial left ventriculectomyを施行したDCMの症例(2歳5カ月, 9.8kg)、術前挿管管理下にあった先天性僧帽弁閉鎖不全の症例(1歳0カ月, 5.3kg)、one and a half ventricle repairを施行したUhl病の症例(9カ月, 7.5kg)のように重症例も含まれていたが、残り2例は肺高血圧を伴わない心室中隔欠損症の症例であり、特に共通した特性はなかった。

体外循環の初期充 ではいずれの方法でもHCO₃⁻が補われているが、MUFで生理食塩水を補液として大量に用いた場合には、電解質値への影響が無視できないばかりかより重大なアシドーシスを来すことも危惧される。今回の検討では予想以上に酸塩基バランスがよく保たれていることが判明した。しかし、3群の1例(1歳1カ月, 体重6.5kgの肺高血圧合併心室中隔欠損症例)において重炭酸塩の投与を要する一時的なアシドーシスが認められ、こうした危険性も排除できないことが示唆された。

MUFの水バランス調整、心機能や呼吸機能の改善、等の効果については施設間で評価が分かれるが^{10,11)}、われわれは極めて良い印象を持っている。近年の常温体外循環では、凝固系の障害が少ないというメリットが得られる¹²⁾一方で、放出されるサイトカインの濃度は高くなるとも言われている¹³⁾。体外循環終了直後の貧血状態においてすでに末梢血管が開いていることも多く、以前にも増して回路残血の速やかな回収と返血が必要となっている。したがって、われわれは急速な返血が困難な小児ではMUF効果に期するところが大きいと考え、こうした常温体外循環の短所を補うという意味でもMUFを評価すべきであると考えている。今回の検討結果から、MUFを施行する際の補液としてはS液が好ましいと考える。

体外循環からの離脱不能例についてみると、1例目は明らかに術前から存在した気道の問題でありS液の使用とは無関係と考えられる。また2例目は肺そのものの低形成もあり、心臓マッサージを継続しながら手術開始となった症例であったが、手術適応に問題があったとも考えられる。心機能の間接的な指標としてのカテコラミン投与の有無では、肺高血圧のある心室中隔欠損症で使用例が多いようにみえる。しかし、これは利尿目的に少量のドーパミンが使用されることが多いためである。呼吸機能の指標としての術後挿管時間では、肺高血圧合併心室中隔欠損症例で平均22.5時間に達した。これは、抜管までに66.5時間を要したstraddling mitral valveを合併したトリプルシャント症例(2カ月, 3.0kg)と、52.5時間を要した軽度大動脈縮窄合併のトリプルシャント症例(2カ月, 2.5kg)の2例の影響が大きい。肺高血圧非合併例に比べると術後挿管時間は長いものの、最近5カ月間の5症例(平均体重3.0±0.1kg, パラシュート弁による先天性僧帽弁狭窄合併1例, 大動脈縮窄複合第二期手術例1例を含む)でみると4.0~17.0時間(平均9.4時間)と短縮してきており、現在は肺高血圧合併症例でも原則として当日抜管を目指している。また、右心バイパス型手術、とりわけ両方向性Glenn手術症例は近年低年齢化してきておりわれわれも生後2カ月までの経験があるが、今回の対象となった最年少6カ月までの症例ではいずれも早期抜管が可能であった。さらに、浮腫に関連した胸骨の一次的閉鎖の可否については、日齢1の総肺静脈還流異常2例中の1例を除いては可能であった。したがって、これらの臨床的な指標でみる限りS液使用の安全性に関しては問題なく、電解質管理上の有用性も期待できると考えられた。

このS液を使用するにあたっての問題点として、本液

が人工透析用補液として開発されてきたことに伴う医療保険上の問題があり，地域ごとの審査に任されている現実がある．ちなみに，価格は616円/lであり代表的な乳酸リンゲル272円/lに比べると若干高い．しかし，われわれはアルブミン，FFP等を充に使用せず，マンニトール，界面活性剤，ヘパリンの4剤のみとしているため，医療経済性という点では決して劣らないと考える．また，Fig. 1に示したように，添加調合薬剤が少ないという体外循環回路充填における簡便性は，昨今話題になることが多い医療事故予防という意味からも一つの利点であり，安全性の向上につながるものと考ええる．以上の本法の特長を考慮して，この保険の問題が解決されることを願っている．

小児の体外循環法には，まだまだ改良の余地があり，今後も時代とともに変化していくものと思われる．たとえば，われわれの回路はまだまだ大きく，貧血の許容限界を高く設定していることもあって，現時点では無輸血手術の限界は体重 5kg台にとどまっている．したがって，今後さらなる回路の小型化への取り組みが必要であり，それに伴いまた充液の組成変更が必要になる可能性はある．体外循環回路の充填液とMUFの補液にS液を使用するわれわれの方法が，異なった概念に基づき，異なったシステムを使用している他の施設において最もふさわしいか否かは定かでない．しかし，現時点での一つの良いオプションであることは間違いないと考えている．

結 語

人工透析用補液，S液を小児の体外循環の充液およびMUFの補液として使用する方法は，術後早期の電解質値を良好に維持し，総合的な臨床成績においても満足すべき結果が得られた．この方法は安全で，現在の小児体外循環における一つの選択肢になり得ると考えられた．

【参考文献】

- 1) Hnken K, Winkler A, Schlensak C, et al: Normoxic cardiopulmonary bypass reduces oxidative myocardial damage and nitric oxide during cardiac operations in the adult. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 116: 327–334
- 2) Journois D, Israel-Biet D, Pouard P, et al: High-volume, zero-balanced hemofiltration to reduce delayed inflammatory response to cardiopulmonary bypass in children. *Anesthesiology* 1996; 85: 965–976
- 3) Davies MJ, Nguyen K, Gaynor JW, et al: Modified ultrafiltration improves left ventricular systolic function in infants after cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 115: 361–370
- 4) 児島弘臣，宍戸寛治，中山文義，ほか：血液濾過療法用重曹補充液の開発．*人工臓器* 1985；14：144–148
- 5) 樋口浩二，吉井新平，大澤 宏，ほか：常温および無輸血体外循環法にも対応できる至適灌流量算出式の作成．*体外循環技術* 1999；26：18–21
- 6) Ashraf S, Tian Y, Cowan D, et al: Release of proinflammatory cytokines during pediatric cardiopulmonary bypass: Heparin-bonded versus nonbonded oxygenators. *Ann Thorac Surg* 1997; 64: 1790–1794
- 7) Karl TR: Neonatal cardiac surgery. Anatomic, physiologic, and technical considerations. *Clin Perinatol* 2001; 28: 159–185
- 8) 横田通夫，上村秀樹，稲盛修二，ほか：*心臓血管外科手術書*．初版，東京，先端医療技術研究所，2002，pp8，10，21–26
- 9) 樋口浩二，吉井新平，鈴木章司，ほか：体外循環における濾過型人工腎臓用補液の有用性について．*体外循環技術* 2002；29：19–21
- 10) Gaynor JW: Use of ultrafiltration during and after cardiopulmonary bypass in children. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 122: 209–211
- 11) Thompson LD, McElhinney DB, Findlay P, et al: A prospective randomized study comparing volume-standardized modified and conventional ultrafiltration in pediatric cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 122: 220–228
- 12) Boldt J, Knothe C, Welters I, et al: Normothermic versus hypothermic cardiopulmonary bypass: Do changes in coagulation differ? *Ann Thorac Surg* 1996; 62: 130–135
- 13) Menasché P, Haydar S, Peynet J, et al: A potential mechanism of vasodilation after warm heart surgery. The temperature-dependent release of cytokines. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994; 107: 293–299