

乳児低体温麻酔下開心根治術の臨床的検討

京都大学医学部外科学教室第2講座（指導：木村忠司教授）

岡 本 好 史

〔原稿受付：昭和43年10月30日〕

Clinical Studies for Open Heart Surgery in Infants with Profound Hypothermia

by

YOSHIFUMI OKAMOTO

From the 2nd Surgical Division, Kyoto University Medical School
(Director : Prof. Dr. CHUJI KIMURA)

Before the advent of open heart surgery with the use of extracorporeal perfusion, operation had been performed with the profound hypothermia in our clinic. Many investigations in this area had been performed in our laboratory. Hikasa Shirotani et al. proposed the specific premedication were effective on cardiac function under deep hypothermia by surface cooling.

In Japan, congenital cardiac anomaly is encountered in 0.5 per cent of all new borns, and more than half of them die within the first year. Less than half die within two months after birth, and slightly more than four fifths die within the six months. Therefore, treatment of the cardiac anomalies, especially tetralogy of Fallot, ventricular septal defect in infancy is one of the major problems to solve. Correction of the congenital cardiac anomalies should ideally be performed as early as possible after birth. However, the result of the open heart surgery performed in infancy are reported to be remarkably poor compared with those performed in older children. For example, Cooley⁴²⁾ reported the mortality rate of the radical operation of ventricular septal defect, 42 per cent in infancy under one year. At present the extracorporeal circulation performed on infants has many difficulties in its technics and postoperative management. Therefore, most of the authors agree that if the patient is expected to survive, the operation should be postponed, and if the patient is severely ill, a palliative method to improve the present condition should be employed before a radical operation is performed.

Here, we have tried to solve the problems, such as the permissible duration of operation and the cardiac resuscitation by the improvement of the method of profound hypothermia. The duration of operation often exceeded one hour in the cases in which the operation was inevitable in infancy due to severe cardiac conditions. So the rectal temperature was lowered to 20 degrees C by the use of body surface cooling, and a

partial extracorporeal circulation was established for cardiac resuscitation and rapid central rewarming. In this method entirely obviated necessity of cardiac massage, so ruling out the possibility of myocardial damage and reopening of the repaired defect. In this method strong cardiac beats were obtained within one minute of perfusion, also rewarming took only a short period of time. The rapid rewarming by the blood stream first warms the major organs such as the liver and the kidneys and disposes of the intermetabolites produced during hypothermia and circulatory arrest, maintaining metabolism in ideal condition. The method is also useful as an assist-perfusion in cases of a surgical blood, a temporary disturbance of conducting system after operation and the radical correction of the tetralogy of Fallot. However, the rapid circulatory cooling with perfusion lowers the function of the major organs such as liver and kidney, before the peripheral oxygen demand decreases, especially in severely ill cases of infant with a tendency to metabolic acidosis preoperatively the discrepancy of temperature between organs makes the metabolic acidosis worse, which is unfavorable from point of metabolism and permissible circulatory arrest time.

We operated upon only the severely ill infants especially ventricular septal defect and tetralogy of Fallot which had repeated episodes of cardiac failure or severe anoxic episodes with terminal death in spite of any pediatric treatment and good operative results have been obtained. All of our cases of ventricular septal defect necessitated surgical treatment. Five infants out of 62 died postoperatively, 57 surviving infants were dramatically improved and asymptomatic. Nine patients of tetralogy of Fallot with severe anoxic spells were indicated emergency surgical treatment, one infant died postoperatively.

We decided to operate upon the cases of the ventricular septal defect over 70 per cent of the pulmonary artery-systemic pressure, intractable congestive heart failure with marked growth retardation. In all those cases, Pulmonary arteriolar resistance and pulmonary blood flow showed abrupt decrease postoperatively and after all remarkable growth with body weight more than average. All nine infants of tetralogy of Fallot revealed normal hemodynamics immediately after or a few months after the surgery.

Since postoperative improvement of symptoms and hemodynamics of the infants were more rapid and complete than in older age, it must be stressed the importance of radical operation of seriously ill patients in infancy.

I 結 言

低体温法は1948年 McQuiston¹⁾ がそれを心臓手術に応用し得る可能性を示唆して以来注目されるところとなり、1950年 Bigelow²⁾ が低体温麻酔下に15分間に亘たる心血流遮断実験に成功するや、Lewis & Taufic³⁾ (1953), Swan⁴⁾ (1953), Bailey⁵⁾ (1954) 等が相次いで本法を臨床的に応用、心内直視下手術を施行するに至ったことは周知の如くである。

併し教室に於ては、さきに日笠、城谷等は先天性心畸形の直視下根治手術を安全且つ確実に遂行するため

には、60分程度の充分な時間的余裕を以て心血流遮断を施し、それを行なうのが望ましいものと考え、直腸温20°C内外という低体温麻酔施行の必要性を唱え、それを安全に行なうためには如何に対処すればよいかを検討、われわれ独自の表面冷却法による低体温麻酔法が画立され、それによつて、教室では Pemco 社製の Kay Cross 型人工心肺装置が購入されるまでの間は、当時斯る方法によつて専ら年長児の先天性心畸形に対し、外科的に対処してきた⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾⁴⁾。

他方、先天性心畸形は全出生児の0.5%にみられ、而もその約半数以上のものが1才未満にして死亡する

ものとされて居り、心室中隔欠損症、ファロー氏四徴症等が先天性心畸型にもとずく乳児期死亡の最も大きな原因となつてゐる。従つて、このようなものに如何に対処し、それを救命するかは心臓外科領域に於ける一つの大きな課題であり、本問題を解決すべく、此処に本研究も施行されたわけである。

ところで、本問題を解決する理想の方法ということになると、当然乳児期既にそれを完全に根治せしめることにあることはいふまでもない。そのためには極めて小さな心臓、ひいては狭小な手術野を対象としなければならず、従つて充分な筋弛緩が得られ、motionlessのdryな手術野を得、安全且つ確実な局所の修復操作を行ない得るだけの時間的余裕の得られる手段を以て対処することが必要となつて来る。Brainのpolarographic current flowの測定成績からも¹²⁾、さきにわれわれが画立し得た直腸温20°C程度の低体温麻醉法の応用が以上の要求を満たしてくれる理想の方法と思われるところから、心室中隔欠損症、ファロー四徴等のために敢て乳児期根治手術を行なわなければならないような症例に対しては常に表面冷却法による低体温麻醉法で対処してみたわけである。このような症例は何れも重症で、後述するように、術前から既に代謝性アシドーシスの状態にある関係上、Blood stream coolingによる中心冷却法は敢くまでも避け、表面冷却法により対処し、復温はそれに反して専ら急速血流加温によつて行なわれるべきことを此処に明らかならしめ得るに至ると共に、その術前、術後の管理、更には乳児期開心根治術の適応についても検討を加えた。(第1図)

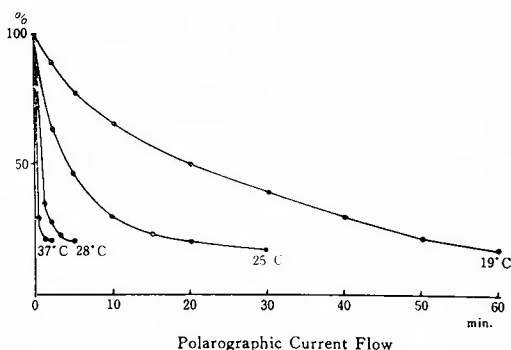


Fig. 1 血流遮断によつて大脳の酸素分圧の減少を各直腸温度で測定し比較したものである。これによると直腸温20°内外で約60分の完全血流遮断の可能なことを示唆している。

II 測定方法

(1) pH値：採血後、それを速やかに氷室内に貯蔵、何れも6時間以内に IL-meter または Astrup の Microgasanalyser により測定した。

(2) PO_2 , PCO_2 : IL-meter では 37°C, Astrup の Microgasanalyser では 38°C で、夫々 PO_2 , PCO_2 電極を用いて測定した。

(3) Base excess¹⁵⁾¹⁶⁾ : 37°C に於ける pH 値, PCO_2 , ヘモグロビン含量より, Siggard Andersen のノモグラムを用いて Base excess 値 (mEq/L) を算出した。

(4) 乳酸：全血を用いて Barker Summerson の方法¹⁷⁾によつた。

(5) ビルビン酸：全血を用いて Friedmann Haugen の方法¹⁸⁾によつた。

(6) Excess lactate¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾ : Huckabee の提唱する Excess lactate (mM/L) の算出は次式によつた。

$$XL = (L_u - L_0) - (P_u - P_0)(L_0/P_0)$$

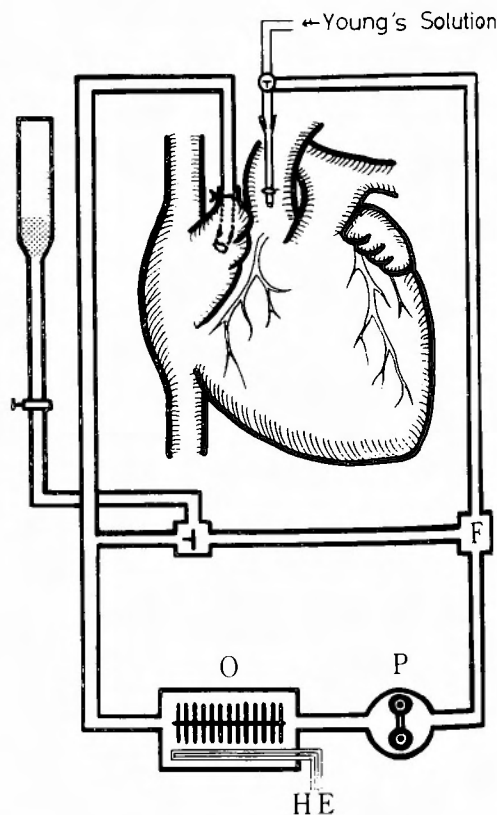


Fig. 2 乳児開心根治手術施行時の復温過程における部分体外循環回路形式。

但し, XL: Excess lactate, L_0 及び P_0 : 夫々正常空気呼吸時の動脈血中の乳酸及びピルビン酸濃度, L_a 及び P_a : 各時相に於ける動脈血中の乳酸及びピルビン酸濃度

(7) 人工心肺装置: 主として, Kay-cross 型回転円板式人工心肺を使用した, 人工肺としては 9 インチのものをを用い, 回転中は専ら 100% O_2 を吹上した(第 2 図)。

III 研究成績並びに考察

A) 冷却法

表面冷却法により直腸温 20°C 前後の低体温状態を得るためには, Extravasation を防止すると共に, 予め Oxidative Phosphorylation が円滑に行なわれている状態下にあるものを冷却するように務めることが膜性状についての今日の概念からしても極めて大切なことであり, ひいてはそれが心室細動の発生防止にもつながることは既に教室先人の実験的に立証したところであり, 更に lung surfactant としての phospholipid の役割をも考慮, 予め乳児に対しては不可欠脂酸の補給源としてソーヤレチニン及びその Antioxidant であるビタミン E の投与を行なつた上, OEF による導入麻酔下に表面冷却を開始し, その後は術後管理の上から専ら O.F. により維持麻酔を施す。直腸温 25°C 前後で開胸, ヘパリン 1 mg/kg 静注, 右心房に脱血管を挿入, 熱交換器を内蔵した小型人工心肺装置体外循環回路に連絡, 同時に大動脈起始部に挿入した送血管とも連結する。必要によつては 22°C 程度に直腸温がなつた際, 心血流遮断許容時間の確実性を図かる意味で, 血流遮断前に予め 1~2 分間, 目的とする最低直腸温を稍々下廻る程度の温度を示す血液を以て部分体外循環を予め行なつておくこともある。というのも, ファロー氏四徴症のよなチアノーゼ性心疾患では, 特に有効, 適切な処置と考えられ得るからである。

脱血管を開放性となし, まず大動脈を送血管挿入部の上方で遮断, 送血管を介して予め 4°C 程度に冷却しておいた Young 氏液, 0.8cc/kg の割合に急速注入, 人為的心停止状態を招来せしめるが, Young 氏液中へのプロスチグミンの添加は行なっていない。上下の大静脈を遮断, 次いで右心房にそう入してある脱血管をもクランプする。この操作は, 後に心蘇生に際し, 左心脱血を省略, 心マッサージ操作を完全に避ける上で適切な処置となる。

なお, 呼吸管理上留意すべきは, 低体温下の PCO_2

が 25mmHg 以下に減少すると, 脳循環障害の惹起される恐れがあことである。常温下では PCO_2 の異常低下で脳動脈の血管を収縮され脳血流を減少させ PCO_2 が 40mmHg から 20mmHg に低下すると脳血流は半分になるといわれ脳波の異常をきたすといわれている^{22) 23) 24)}。而も, 斯る低体温下に於ては, 呼吸数を最終的に 10 程度にしても, なお, 充分な動静脈血酸素含有較差が確保されているから, むしろ PO_2 を指標とするよりも PCO_2 に留意して, 余り過換気とならないように努めることが肝要である(第 13 図)。そして, もし出来得れば, 3~4% の CO_2 を麻酔ガス中に混入, PCO_2 の減少による Respiratory alkalosis を防止, HCO_3^- の腎よりの排泄を防止して, Metabolic acidosis を予防することも行なわれて然るべきであろう。

B) 心蘇生, 復温法

開心根治術の心蘇生, 復温に際しては, 手術局所の再破損, 心筋障害を招来せしめる怖れのある心マッサージを避け, 短時間内に安全且つ確実に心蘇生, 復温を図かるため, 部分体外循環の応用が最善の方法であると考えた。この方法によれば, また後述するように, 冷却時あるいは血流遮断時に異常に蓄積するに至つた中間代謝産物の処理が, 心, 肝, 腎といった重要臓器の復温が末梢組織よりも一歩ききんじて行なわれ得るために順調に行なわれ, 代謝面からみても甚だ有利である。更に, 心血流遮断解除後の一時的刺激伝導障害時, Surgical A-V block 発生時にも安全に対処し得るし, ファロー氏四徴症に対する根治手術後の補助循環も充分に行ない得るといつた利点を有する。

従つて, われわれは乳児期開心根治術後の心蘇生, 復温に際しては, 心血流遮断解除と同時に純酸素による呼吸を開始, それと同時に 毎分 $30\sim 50\text{cc/kg}$ 程度の流量による部分体外循環を行ない, 直腸温が $30\sim 32^{\circ}\text{C}$ 程度となるまで急速血流加温を行なう。部分体外循環開始当初は脱血オーバーとなし, 心拍動の状態を観察し乍ら, 徐々に脱血管をしほり, 静脈圧が $10\text{cmH}_2\text{O}$ 前後を示すところで送脱血のバランスを最終的に平衡ならしめる。また, 出血点の有無確認という意味で胸腔内加温法をも併用している。

なお, 部分体外循環にさきだち, 後述するような実験成績から, 予め人工心肺装置充填血中の pH を補正しておくと同時に, 部分体外循環終了時に更に緩衝液を追加投与するように努めている。これによつて復温時の Base excess 値を -5mEq/L 以内にコントロールし得る。併し, 部分的体外循環時間は極めて短時間であ

るから、マンニトールの如きは填充血中に添加する必要はない。

部分体外循環終了と同後に 4 mg/kg の割合にプロタミンの投与を行ない、以後血圧 95mmHg、ヘマトクリット値35%の線を指標として輸液を行なう。なお、保存血の使用に際しては、通常中和量の2倍のCa剤の投与により、citrateの中和を図かるのが安全であることは、第3図のようなLee whiteのlotting time測定成績からもよく理解され得るところである(第3図)。

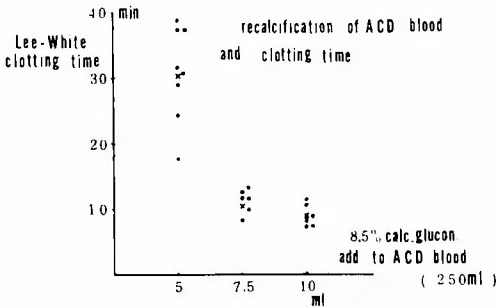


Fig. 3 低体温下では citrate による心筋抑制がことのほか強く現われるので Ca 剤による中和を忘れてはならない。中和にあたってはカルシウムイオンが問題であり、このカムシウムイオンと凝固時間の関係を用いて 8.5% Calcicoll と ACD 血との中和量を求めると ACD 血 250ml に対しては Calcicoll は 5cc より多い目の量が必要である。

C) 術後管理

乳児開心根治術の Respiator の応用は精々 2~3 時間以内に止め、出来るだけ早期に気管内チューブの抜去を図り、気道の線毛上皮の機能が障害されるに至らないように留意し、その後は Humidity の確保を第一義的目的として、28~30°C、湿度 100% の酸素テント内に患児を収容する。併し、の際頭部以外の部分まで広く酸素テント内に収容することは避けるべきである。

また、乳児が自力で気道分泌物の充分な咯出を行ない得るように、気道粘膜からの自然の分泌物をむしろ多少共促がしてやるのが有利で、そのため N-シクロヘキシル-N-メチル・アンモニウム・クロライド(商品名: ビソルボン)の 2cc 中 4 mg 溶解液を 500cc の蒸留水中に 10cc 位の割合に、更に Bronchodilator としての作用を期待してアローテック注射薬 3~4 本をも併せ添加、毎分 10L 程度の酸素流量で Bird respirator に付属している Nebulizer を利用して酸素テント内に

噴霧する。

乳児では、胃腸の膨満がもたらす横隔膜の挙上は殊の外著るしく呼吸の抑制を招来するから、後述するような適正な水分、電解質の補給に術後努めると同時に、胃ゾンデのそう入も忘れてはならない。

このように対処すれば、度重なる気道感染に悩まされたような重症心室中隔欠損症の乳児や Anoxic spell を頻発、緊急手術を余儀なくされたようなファロー氏四徴症の乳児に対する乳児期根治手術が施されても、術後気道分泌物を吸引してやるといつた手間も要せず、常に術後 2 日目より経口的食餌摂取が可能となり、順調に回復するに至る。経口的食餌投与の直前に胃ゾンデを抜去、浣腸を行なつておくべきである。

なお、われわれは、斯る乳児の退院に際し、体外計測法によつて得られた斯る乳児の R. IHSA dilution curve をコンピューターによりアナログシミュレートし、遺残短絡の有無確認に努め、また術後の胸廓変形を防止する意味で、術後簡単なコルセットを装置せしめている。

D) 乳児期開心根治術の適応とその成績

(1) 心室中隔欠損症

ベチロルフェン、ラボナールを以てする前投薬のもとに、全身収縮期圧 80mmHg 前後で測定し得た体重 10 kg 以下、生後 24 ヶ月以内の乳児心室中隔欠損症根治手術症例の術前に於ける肺小動脈抵抗、肺動脈平均圧、肺血流量の三者の相関を図示したのが第 4 図で、肺動脈平均圧が 40mmHg ということは、収縮期圧が大体 60mmHg であることを意味し、従つて肺動脈平均圧 40 mmHg の線が大体肺動脈/大動脈収縮期圧比 75% の線となり、従来小児科の姑息療法ではコントロールしがたく、経験的に予後絶対不良とされて来たような症例

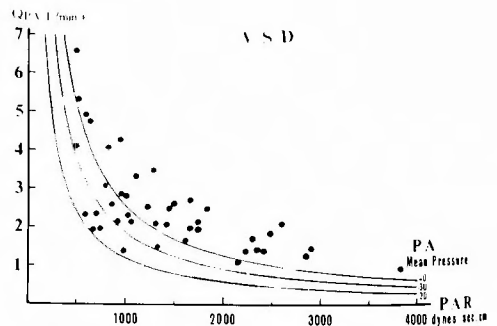


Fig. 4 Relationship between pulmonary blood flow, pulmonary arteriolar resistance and mean pressure of pulmonary artery in infants with VSD.

はこの線より上方にプロットされているような症例は年長児に至るまでよく小児科的にコントロール得て、何も敢て乳児期に根治手術を企てる必要のないようなものである。従つて、乳児の心室中隔欠損症の重症度を示す指標としては、肺動脈/大動脈収縮期圧比を以て表わすのが妥当のように思われる。そして、前者のような症例に対する乳児期根治手術が安全に行なわれ、その真の意図するところが達成されなければ、仮令後者のようなものに対するそれが成功したからといつて、乳児期開心術の全面的解決がもたらされるに至つたものとは毫もいい得ないという立場に立つて、われわれは本問題の解決に当たつて来た。

更に、根治手術時に測定し得た心室中隔欠損孔の直径と肺動脈/大動脈収縮期圧比との相関を求めた際にも、肺動脈/大動脈収縮期圧比が80%以上を示すものにあつては、欠損孔の大きさは何れも大動脈のそれを上廻るといつた、到底自然閉鎖の期待され得るようなものではなく、その欠損孔は何れも巨大、辺縁筋性の、結局パッチ縫着によらなければ、その閉鎖を図り得ないようなものばかりであり、肺動脈/収縮期圧比が70~80%の間にあつたものでは、直接縫合例とパッチ縫着例とが相半ばし、70%以下のものでは殆んどその全てが直接縫合可能であつた。

肺動脈/大動脈収縮期圧比と發育障害の程度との相関性を Kaup の Index を指標として求めてみても、大

体兩者の間には相関性が認められ、肺動脈/大動脈収縮期圧比の大なるもの程發育障害の程度が著るしいようである。併し、それが70%を割るような症例に於ても、發育遅延のみられるものが認められた(第5図)。また、われわれが今日までに乳児期開心根治術を施行した肺動脈/大動脈収縮期圧比が80%以上を術前既に示していた症例の術後の経過を図示したのが(第6図)。

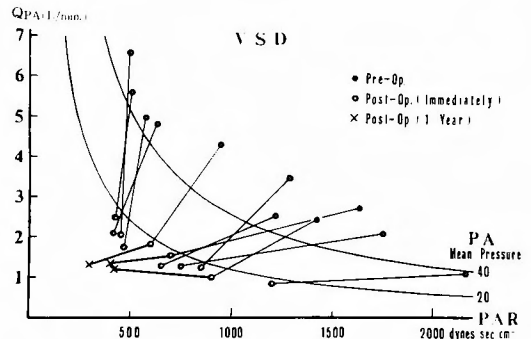


Fig. 6 Findings of preoperative and postoperative cardiac catheterizations.

である。肺小動脈抵抗、肺血流量は術直後から著明に低下、結局は肺動脈平均圧 15mmHg 程度の線上の点に復し、以後健全な發育を遂げてゆくようで、完全な根治手術の意義の達成し得られることが判明するに至つた。

以上の事実から、われわれは乳児心室中隔欠損症に対する乳児期開心根治術の絶対的適応は肺動脈/大動脈収縮期圧比が70%以上のものにあり、それが70%を割るものにあつても心不全を繰返し、發育の著しく障害されるに至つたものに対しては、やはり乳児期開心根治術が企てられて然るべきであるとの決論に到達した。

このような立場から今日までにわれわれが企てた体

V S D

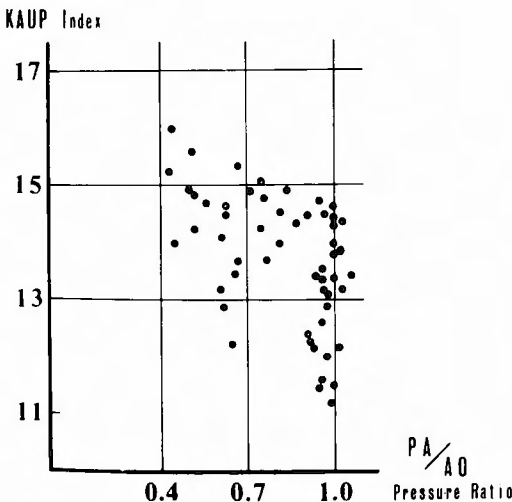


Fig. 5

Table. 1 Cases of Open-Heart Surgery for VSD in Infants

PA/AO Pressure Ratio	Pulmonary Hypertension	No. Cases	No. Deaths	Percent Mortality
~0.4		0	0	0%
0.4~0.6	Mild	8	0	0
0.6~0.8	Moderate	14	1	7
0.8~	Severe	33	3	9
	Total	55	4	7

重10kg以下、生後24ヵ月以内の発育が著しく障害されるに至った乳児心室中隔欠損症例に対する直視下根治手術の成績は(第1表)の如くて、その体重最低例は4 kgに及んでいる。

(2) ファロー氏四徴症

ファロー氏四徴症も先天性心疾患にもとづく乳児期死亡の原因として大きな比率を占めるものである。

ファロー氏四徴症の乳児が生後どのような右室流出路の機能的、形態学的変化を経時的に示しゆくものであるかは、われわれの一大関心事であり、心血管造影法の発達はそれを知るための一つの有力な手段となる。例えば、われわれが同一患児について、その生後1才1ヵ月目と生後2才9ヵ月目に心血管造影を行ない、両者を対比してみたところ、右室流出路の示す態度、大動脈の造影される態度等に著しい差異が認められ、右室流出路のSpasmusが繰返えされている間に右心系血液の大動脈への短絡が助長され、右室流出路のObstruction、肺動脈弁輪の線維性硬化は益々進行、肺動脈は相対的にhypoplasticとなり、動脈血酸素飽和度の低下、色素量の増加、肺動脈/大動脈直径比の低下の度合は何れも長令が長するに伴って増強、その病像が常にProgressivな経過をたどるものであることを立証し得るに至った。

また、Anoxic spellを全くみないファロー氏四徴症の乳児の心血管造影像とAnoxic spellを2〜3日に1回の割合であるいはそれを毎日反覆していた乳児の心造影像とを比較してみると、Anoxic spellというものは肺動脈が極端に細いために惹起されるものではなくして、Anoxic spellを頻発するような症例こそ肺動脈は根治手術に耐え得るだけの太さを有し、その原因を右室流出路のSpasmusに求めて然るべきことが判明するに至った。

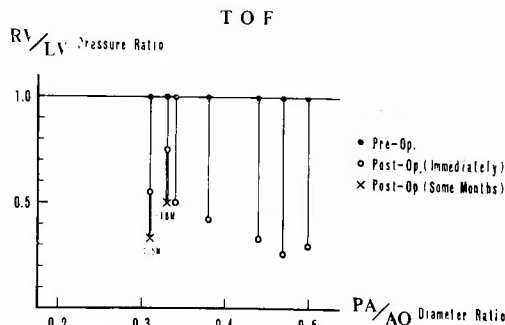


Fig. 7 Findings of preoperative and postoperative cardiac catheterizations.

以上の事実は、ファロー氏四徴症に対する乳児期開心根治術の妥当性、必要性を十分に示唆するもので、このような立場から、われわれはファロー氏四徴症の乳児期開心根治術の安全性の画立に努め、今日までに体重10kg以下、生後24ヵ月以内のAnoxic spellの頻発、小児科的に最早コントロールし難く、緊急手術を余儀なくされたファロー氏四徴症の乳児9名に対し、われわれは昭和41年来常に主張して来た右室機能は極力温存、弁狭窄の除去と弁輪の拡大は肺動脈弁用拡張器によつて開大、心室中隔欠損孔の閉鎖には当該個体の二重にした心膜片を以てするという手術術式によつて根治手術を施し、僅かにその一例を失なつたに過ぎないという好成績を収め得るに至つた。その根治手術成功最年少例は生後3ヵ月半の乳児である。

而も、右室流出路のパッチ縫着による拡大成形術の如きは何れの例にも行なつていないが、乳児例では仮令肺動脈/大動脈の直径比が50%を割るような例に於

Table. 2 Open-Heart Surgery in Infancy

	No. Patients	No. Deaths	Percent Mortality
VSD	62	5	8%
TOF	9	1	11
ASD	5	0	0
VSD & PS	1	0	0
PS	1	0	0
mean			
Rectal Temperatur	17~25°C (21°C)		
Circulatory Arrest	15~75Min. (39Min.)		

ても容易且つ速やかに右室圧は術後目的とする線まで充分に下降(図第7), そのような点に於てもファロー氏四徴症に対する乳児期開心根治術の大きな利点が見出し得るようである。

E) 乳児低体温麻酔下開心根治術時の代謝の様相

以上のような術式の画立、更にはそれによつてもたらされた優秀な成績の因つて来たる所以も、要は次に述べるような実験的成績にもとづくものである。

(1) 酸塩基平衡

われわれの乳児期開心根治術の主対象が重症心室中隔欠損症、Anoxic spellを頻発するファロー氏四徴症の乳児にあるところから、手術前既にBase excessの低下を伴うmetabolic acidosisの傾向と酸素不足を代償するための過換気によるPCO₂の減少、即ちRespirator

alkalosis の傾向が認められる。併し、 PO_2 は一般になお低値を示している (Fig. 8)。

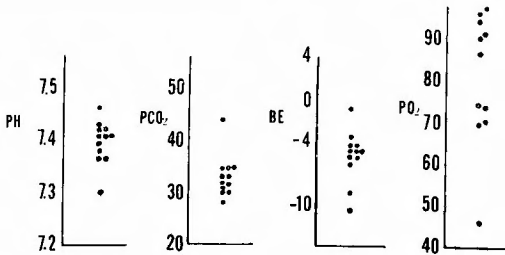


Fig. 8 麻酔開始前既に Metabolic acidosis の傾向と過換気による PCO_2 の減少、即ち Respiratory alkalosis の傾向が認められた。

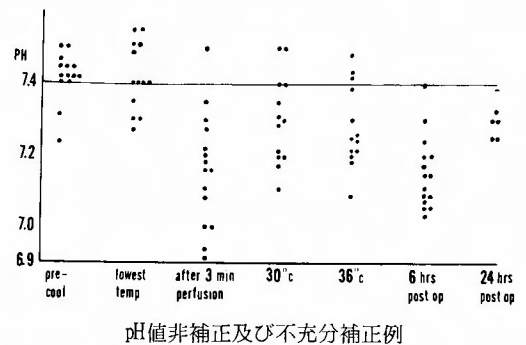
表面冷却法の施行によつて、直腸温が低下すると、それに伴ない益々 Base excess は低下、血中ピルビン酸値は殆んど変化を示さないも拘らず、血中乳酸値は上昇、嫌気性代謝の亢進を示すようになる。 PCO_2 は過換気、低温のために益々低下、25mmHg 前後を示すようになるが、 PO_2 は正常以上となり、pH 値はむしろアルカリ性に傾く。

併し、この際注意すべきことは、のような低体温時の PO_2 、 PCO_2 、pH、Base excess 値といったものは、常温下で採血、測定したそれらと同等には取り扱い得ないということである。即ち、低体温下で、血液がある分圧の酸素、炭酸ガスを含む気体と平衡した際、 PO_2 、 PCO_2 はその気体の分圧に等しいわけであるが、実際に測定する場合には、Anaerobic に $37\sim 38^\circ C$ に戻して測定する場合上、血液ガス溶解度の低下と共にガス分圧は上昇する³²⁾³³⁾³⁴⁾。しかし部分的体外循環でもつてする急速冷却、復温法では身体各部の温度の較差が大きいためその際の体温が決定できず換算に困難がある。従つて、本論文のこれらの値も実際の生体の値をそのまま表現したものではなくして、 $37\sim 38^\circ C$ に戻した場合の値ということになる。なお、今日までのところ、未だ低体温下の至適 PCO_2 、pH、Base excess 値等については完全な意見の一致が得られていない。

低体温下の脳循環に関しては未だ明らかにされていないが、併し乍ら、低体温下の動脈血 PCO_2 が 25mmHg 以下に減少すると、脳循環の障害が惹起され得るものとされているし、体温の低下に伴う PCO_2 の減少及び血液のアルカリ化は生化学的に避け得られないとしても、冷却過程での過換気による Respiratory alkalosis

は代償機転による Metabolic acidosis の増悪を促す一因ともなる²⁵⁾²⁶⁾。また pH の著しく上昇するような場合には血中カルシウムイオンの低下をきたして心機能にも影響をあたえ²⁷⁾、また O_2 解離曲線は左へ移動する²⁸⁾。これは低体温のみでもおこりうるものでこれが重なると更に組織への酸素供給が行なわれがなくなる。このような点については特に低体温麻酔の施行に際しては留意すべき必要があるものと思われる。而してその対策として $3\sim 4\%$ の炭酸ガスを麻酔ガス中に混入せしめて、 PCO_2 の減少による Respiratory alkalosis を防止、 HCO_3^- の腎よりの排泄を防止して、Metabolic acidosis を予防することも当然考えられて然るべき手段といえよう³⁶⁾⁵⁰⁾。

次いで、直腸温が $20^\circ C$ 前後に至つたところで Young 氏液による人為的心停止下に目的とする開心根治術を行なうのであるが、われわれが対象としている心室中隔欠損症の乳児期開心根治術施行症例はその殆んど全てが前述もしたように欠損孔の閉鎖に当たりパッチ縫着を必要とするような症例やあるいはファロー氏四徴



pH 値非補正及び不十分補正例

Fig. 9 冷却開始前の pH は動脈血 7.26~7.51 平均 7.44 とアルカローシスに傾き冷却とともに pH は低下していくが平均 7.39 と軽度である。これは高度の呼吸性アルカローシスにより代償されているためである。一方人工心肺回路内充填液は部分的体外循環開始前には純酸素により吹送され recirculation をうけているので全例 pH 7.6 前後又はそれ以上の高度のアルカローシスを示した。循環停止後加温開始時に還流してくる静脈血 pH は更に低下しなかに 6.9 を示すものもあり平均 7.12 と Acidosis は著明だつた。しかし部分的体外循環が開始されると充填液の緩衝能が働くのと呼吸性に代償されるため pH は上昇に向うがまだ 7.10~7.45、平均 7.28 にとどまつている。その後復温してからあまり回復せず術後麻酔器又は Respiator 等による補助呼吸を中止すると再び pH は低下する傾向を示した。

症に対する根治手術施行症例であるがために、その平均心血流遮断時間は40分前後となっている。この心

血流遮断前の混合静脈血とそれが解除後の静脈血の PO_2 , PCO_2 を夫々比較、検討してみると、心血流遮

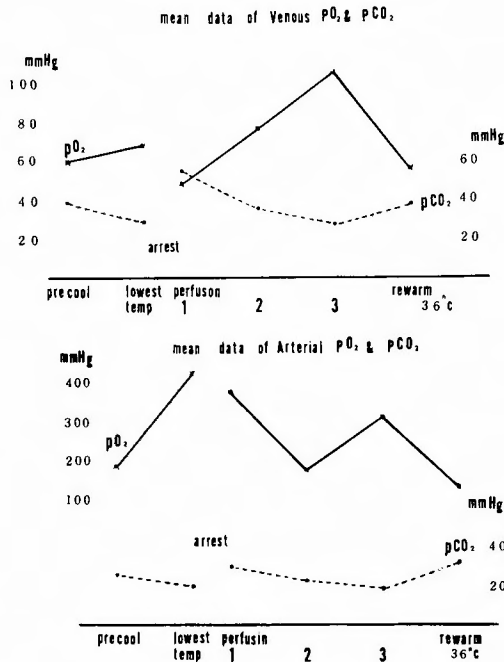


Fig. 10 麻酔開始と同時にほとんどの症例が動脈血 PO_2 120mmHg 以上を示す。体温低下と共に

PO_2 は更に上昇を示し最低体温にいたれば、多くは200mmHg以上となる。一方静脈血 PO_2 は温度下降とともに上昇傾向を示し動静脈血酸素含量較差は全例減少を示した。心停止後部分的循環を開始すると初期の送血 PO_2 は充填液への純酸素吹送の影響をうけ高値をたもつが、環流する静脈血 PO_2 は初期にあつては低値を示した。ことに心停止前の循環動態の不安定なもの、ファロー氏四徴症及び長時間心停止例では著しく低下した。部分的体外循環の進行とともに静脈血 PO_2 は次第に上昇し、送血 PO_2 は一時的に低下するも部分的体外循環終了直前には上昇し平均296mmHgを示した。静脈血もほとんど PO_2 80 mmHg 以上に上昇した。

PCO_2 は麻酔開始前既に軽度の低下の傾向を示すが、これが麻酔開始とともに更に低下し、動脈血 PCO_2 は平均 29.5mmHg を示した。循環停止直前の静脈血 PCO_2 は19~40mmHg 平均30.5 mmHgで部分的体外循環開始直後の還流血 PCO_2 は、28~65mmHg、平均 47.5mmHg と増加を示し変化が著しかった。復温開始とともに PCO_2 は再び低下し部分的体外循環終了直前には動脈血 PCO_2 20mmHg、静脈血 PCO_2 26mmHg となった。術後復温してからは軽度に CO_2 の蓄積傾向を示した。

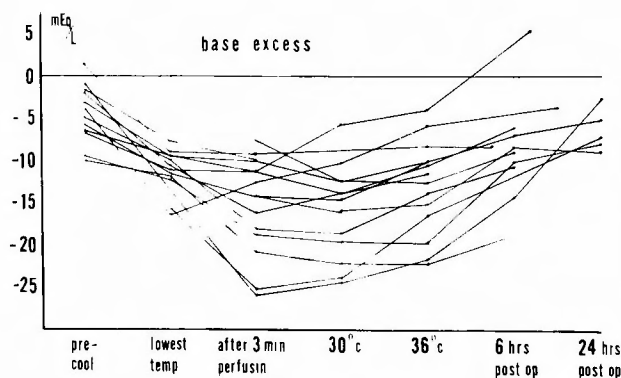


Fig. 11 pH非補正例及び不充補正例

OEF麻酔、表面冷却開始とともにpHはむしろ上昇したが、 PCO_2 B. E. は共に減少し中等度代謝性アシドーシスを示した。血流遮断解除直後の静脈還流血は全例中等度ないし高度の代謝性アシドーシスを示す一方 PCO_2 が高く、呼吸性アシドーシスもあわせもつものであつた。直腸温36°Cにたいすれば B. E. も好転してくるが尚かなりの代謝性アシドーシスを示す。24時間経ても尚中等度代謝性アシドーシスが残っているものもある。

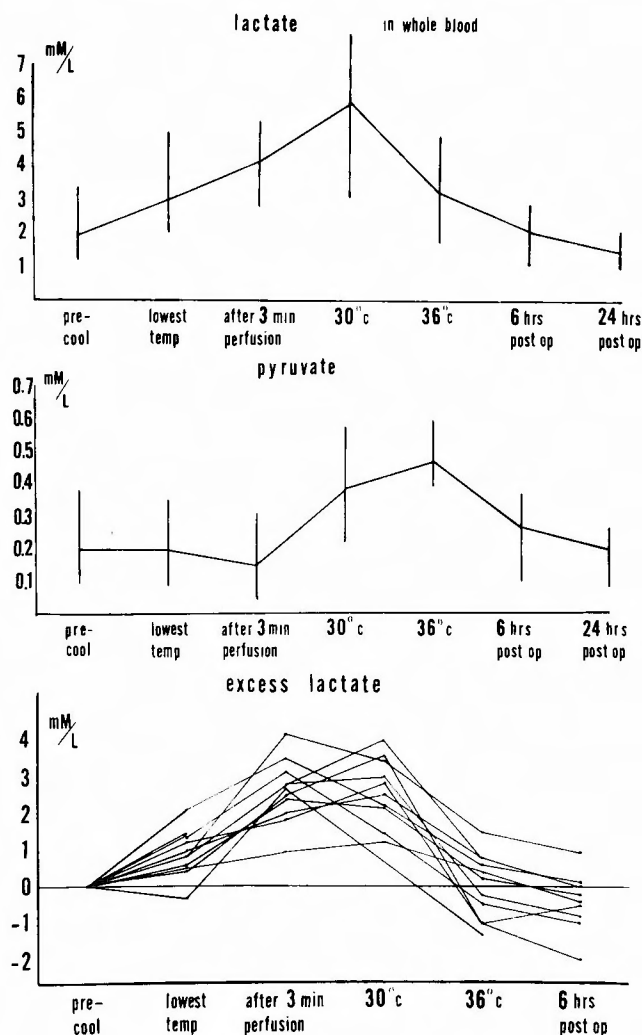


Fig. 12 表面冷却と共に Excess lactate は増加を示したが 3 mM/L 以下であつた。部分的体外循環開始時の還流血中の乳酸値は更に増加するが、一方ピルビン酸は減少を示し Excess lactate でみれば 3 mM/L をこすものが多かつた。

急速復温し直腸温 30°C 前後にいたれば、代謝が活発となり乳酸値はひきつづき増量するか、ピルビン酸がこれを上廻るようになる。36°C 近く復温すれば血中乳酸値は減少しはじめが、ピルビン酸はむしろ増加を示す。6 時間後には乳酸値及びピルビン酸値は共に冷却前値に近づいて、Excess lactate は 0 あるいは逆に負の値を示す。Excess lactate と、 O_2 負債は正の相関関係があつて、理論的には 1 mM の Excess lactate は、11.2 cc の O_2 負債に相当するといわれるが、更に他の原因で肝での Excess lactate の処理能力が低下しても蓄積がみられるわけである²⁰⁾。

低体温下、及び血流遮断による Acidosis は、Lactacidosis といひうる。復温過程では、Lactate は更に上昇を示すが、一方 pH, Base excess はあまり変化をみない。また、この高値を示す Lactate は比較的早期に軽減するが、Base excess で示される Acidosis は回復が遅い(第11図)。

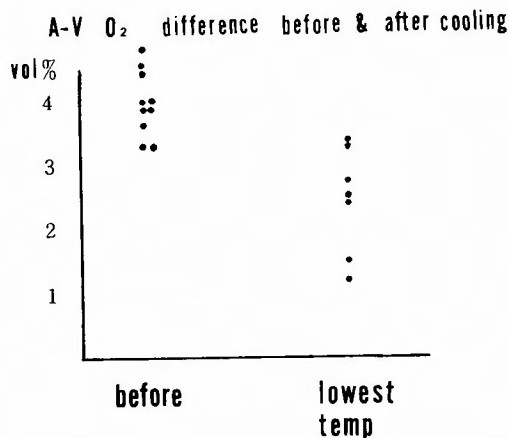


Fig. 13 常温下では、混合静脈血酸素飽和度は全身への酸素供給のよい指標となるといわれるが⁵⁰⁾、低体温下では、混合静脈血の PO_2 が上昇し、動静脈血酸素含量較差が減少を示すのにかかわらず Acidosis が必発してくる。

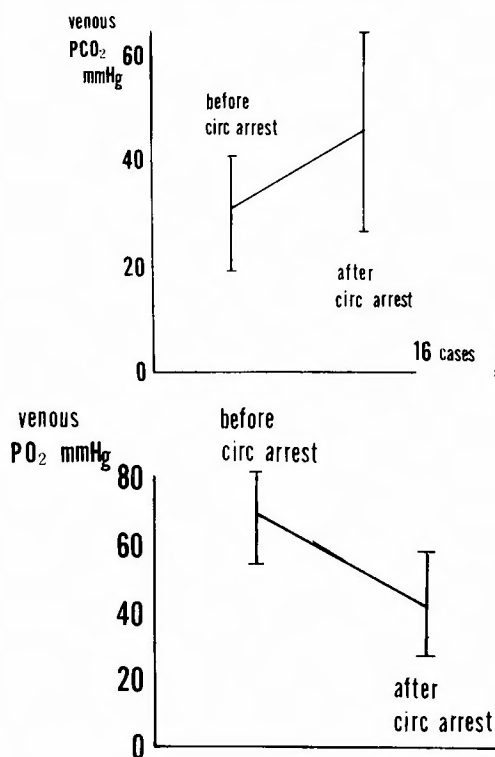


Fig. 14

Metabolic change during arrest

duration of arrest	fall in base excess
<30min	4.9 mEq/l (7 Cases)
>40min	6.1 (8)
	rise in blood lactate
<30min	1.2 mM/L (6 Cases)
>40min	1.6 (9)

Table 3 表面冷却法による低体温と、血流冷却でもつてする低体温とではその生理を異にし、一律に遮断許容時間に関しては論ずることができない。Neville⁵¹⁾ は、体内温度勾配の大小がこれを規制していると述べている。

断中といえども嫌気性代謝以外にお好気性代謝の行なわれていることを窺い知ることができる(図14)。酸素含量は4~5 vol%の低下をみているが、一方代謝性アシドーシスの指標となる Base excess 値については、40分以上の長時間血流遮断例では6.1 mEq/Lの低下、30分以下の比較的短時間の遮断例では平均4.9 mEq/Lの低下をみている。また血中乳酸値は40分以上遮断例で1.6 mM/L、30分以下遮断例で平均1.2 mM/Lの上昇を示している。つまり Base excess 値及び乳酸値は血流遮断時間延長とともに高値を示し、ほぼ10分間の循環停止により Base excess 値は1.6 mM/L ずつ低下し乳酸値は0.1 mM/L ずつ上昇することになる。つまり循環停止中は好気的代謝も行なわれる一方、比較的早期より既に同時に Anerobic な代謝が開始されていることを示している(表3)。

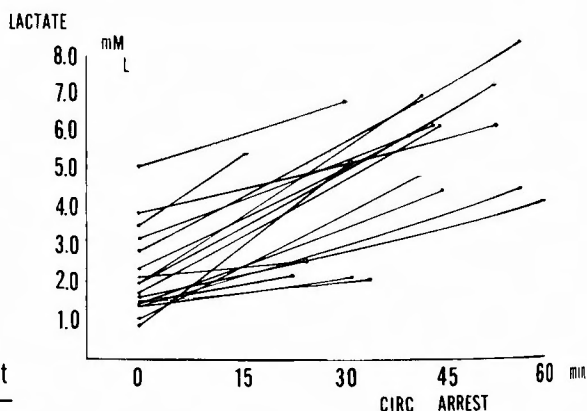


Fig. 15 血中乳酸値は加温過程で漸増し、30°~32°Cで最高値を示し、これを循環停止時間との関係で示した。

心内修復操作を終了、部分的体外循環開始と共に Metabolic acidosis は益々顕著となるのであるが、これは冷却時及び心血流遮断中の組織の Hypoxia にもとずく乳酸を初めとする固定酸、酸性物質の増加、肝に於ける代謝産物処理能の低下、腎に於ける酸塩基平衡調節能の低下等が大いに与つているものと思われる。

人工心肺回路充填液は、新鮮ヘパリン加血液を主とし5%ブドウ糖、抗プラスミン剤、PVP 等を加え15~20%の稀しやくとなつている。容量は400~1400cc 平均800ccであつた。新鮮ヘパリン加血液の Base excess 値は表2の如く著しい変化は示していない。充填液の Base excess 値を測定してみたところ -11.5 ~ -6.0mEq/L の間にある。ここで、予め充填液中に重そう水を加え、あらかじめ酸性に傾いた充填液の pH を補正し且つ心停解除後の以謝性アシドーシスをも代償することを目的とし、7%重そう水30ml 使用し生体の緩衝能を保持するよう企てた²⁹⁾。充填液の Base

fresh heparinized blood	
(12 bottles)	
pH	7.200 ~ 7.310
PCO ₂	46 ~ 68
BE	-6.2 ~ -2.0
ACD blood	
(15 bottles, 6 hrs. to 11 days)	
pH	6.420 ~ 6.800
PCO ₂	103 ~ 164
BE	< -25 ~ -23

Table. 4

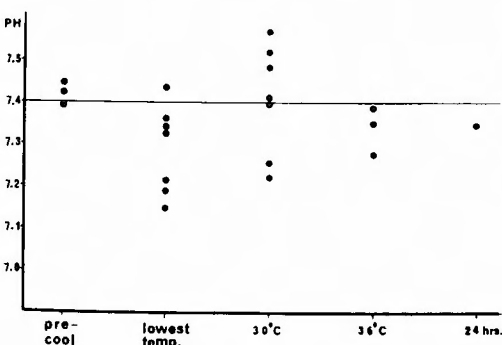


Fig. 16 pH 補正例

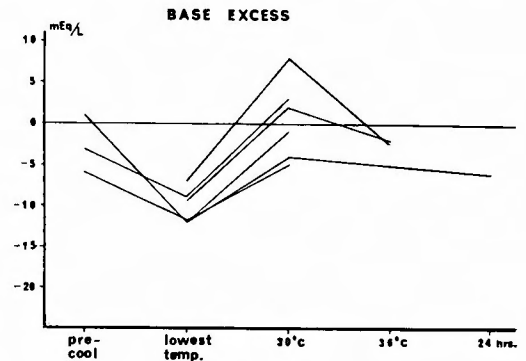


Fig. 17 pH 補正例

尚7%重そう水1ccは0.83mEqに相当する。
0.3M, THAM 溶液1ccは0.3mEqに相当する。

excess は多くは正となつた。更に部分的体外循環を開始し最も Acidosis が進行し、乳酸値が最高を示す30°C 前後でその15~30mEq を追加投与し、これによく復温後の Base excess 値を -5mEq/L 以内にコントロールし得るようになり、部分体外循環時及び復温時の Base excess 及び pH 値の変動を著明に改善し得るに立ち至つた。尚直腸温30°C前後でpHを補正しBase excess は正常に近づくが更に復温がすすめば再び低下する傾向がある。しかしファロー氏四徴症又は重症心室中隔欠損症で血行動態の不安定なものでなければあまり問題ではない(図16, 図17)。

また4例に上記と同様の使用方法で0.3M, THAM を用い Acidosis の補正を試み Base excess は -4 mEq 前後の値にコントロールされたが、乳酸値 Excess lactate に関しても重そう使用例とは差異がなかつた。

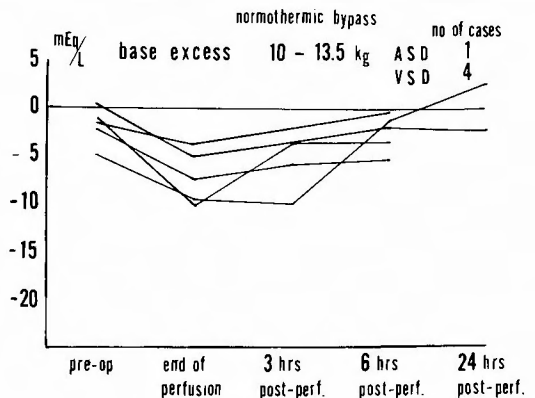


Fig. 18

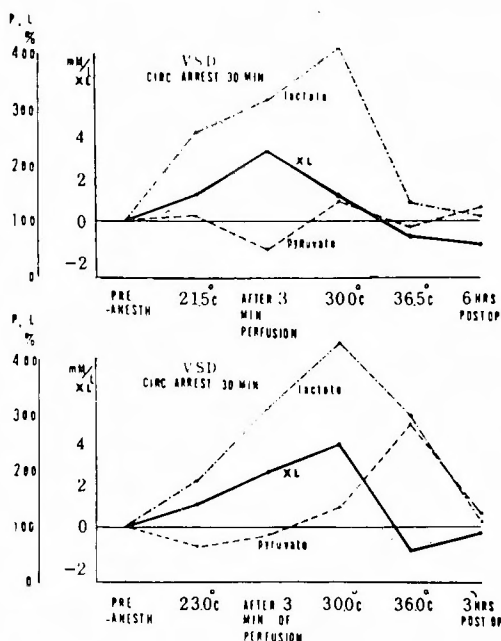


Fig. 19

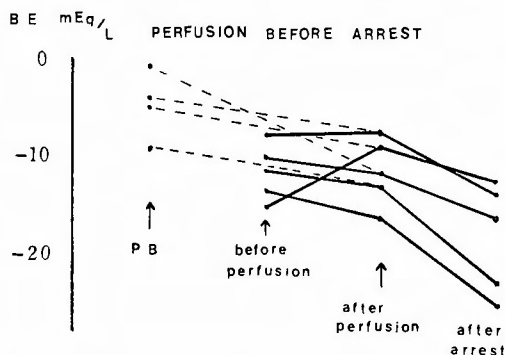


Fig. 20 部分的体外循環施行後に心停止にうつった場合の前後の変動をみると、Base excessは6.2mEq/Lの減少、静脈血 PO_2 は81.4mmHgより49.0mmHgと減少し、 PCO_2 は23mmHgより46mmHgと上昇を示しこれ等の値は、表面冷却後直ちに心停止にうつった場合の前後の変動と大差はない。

このような Base excess 値は体重10~13.5kgの幼児に対する常温下完全体外循環による開心根治術施行時のそれと較べて全く遜色のない成績といえる(図18)。また、Excess lactateは直腸温が30~32℃程度にまで復温

すると低下、嫌気性代謝から最早個体の解放され得るに至ることを如実に物語っている(第12図、第19図)。

目的の温体に低下するまでに、麻酔の過誤あるいは、それでなくとも重症心疾患などで循環不全をきたし心拍力が減弱且つ温度下降勾配が緩徐となれば、直ちに準備してある部分的体外循環を使用しこれを補助し冷却を助けてやる。この際部分的体外循環を行なうと、回路内血液は、以前の低体温下の Base excess に比し更に低下を示し Acidosis の進行を物語っている。つまり部分的体外循環を使用することにより、中間代謝産物が Wash out された感があり、これを復温時の体外循環に使用する場合は更に充分な pH の補正をしなければならない(第20図)。

乳幼児では、成人に較べて、血漿重碳酸塩濃度のみならず全血 Buffer base 値も低く、酸塩基平衡の失調を来し易いものとされているが、この程度の Metabolic acidosis の残存は、根治手術が完遂せられ、術後の合併症が前述のような手段によつて完全に防止され得るようであれば、補正の必要は毫もなく、通常術後24時間も経過すると自然と正常に復するものである。

以上の事実を考慮するならば、当然冷却時は表面冷却法を以て、復温時には急速血流量温法を以て対処するのが、特に術前からアシドーシスの状態を示す乳児期開心根治術を敢て行なわなければならないような症例では合理的であるといひ得る。というのも、これによつて冷却時心、肝、腎といった中心重要臓器が末梢よりも遅れて冷却される結果、末梢に於ける代謝低下の割りに心、腎等の機能はよく保持されて居り、中心冷却法に較べて Metabolic acidosis はあらわれ難く、それに対して、復温時には逆に血流量温法によつて、末梢臓器に較べて中心臓器の方が早く復温、心、肝、腎等の機能回復が速やかに行なわれ、冷却時及び心血流遮断時に発生した Metabolic acidosis は早期に軽快され得ることになるからである。

しかしながら、復温過程で pH, Base excess はあまり変動を示さないが乳酸値は持続的に増高していく。Excess lactate でみても直腸温30℃近くまで増加を示し、つまりこのことは単に代謝が亢進するというばかりでなく解糖系よりみた組織 O_2 需要供給関係ではむしろ hypoxic と解釈されうる²⁰⁾ (第12図、第15図)。また、部分的体外循環終了直前の $A-V O_2$ difference をみると、ほとんど1 Vol% 前後の値を示し(第10図)、血漿溶存酸素でその大部分がまかなわれていることと

なり、例えば部分的体外循環の流量を 50cc/kg/min, 自己心による拍出量を 50cc/kg/min としても、これより算出される酸素消費量は、毎分体重kg当たり 1 cc前後となり、尚 20° 前後の値を示すこととなる。即ち環流血の酸素分圧が急速に上昇しても、組織の酸素需要には応じずに、かなりの血流はそのまま組織をシャントしていることが推定できる。Ballinger 等³⁰⁾ の成績では表面加温によつても、Excess lactate は負の値を示したという。

つまり、あまり急激な加温は必ずしも好ましくなく、温度快復に伴う生体各部の酸素消費と循環動態の均等化をはかるように留意しなければならない。

(2) 術中、術後の水分、電解質の変動とそれに対する対策

一般に体温が低下するに伴ない、尿量、Osmolar clearance は著しく増大、尿中への Na, K, の排泄が増加する。低体温下にあつては血圧の低下、腎血流量の減少、糸球体濾過値の減少がみられるにも拘らず、何故このような現象が招来されるに至るものであるかについては、低体温により ADH, Cortisol, Aldosterone, Cathecholamine 等の分泌が減少するために尿細管に於ける再吸収が著しく抑制されるに至るためと考えられる。

直腸温が 28°C 以下ともなると、尿量は減少し、心血

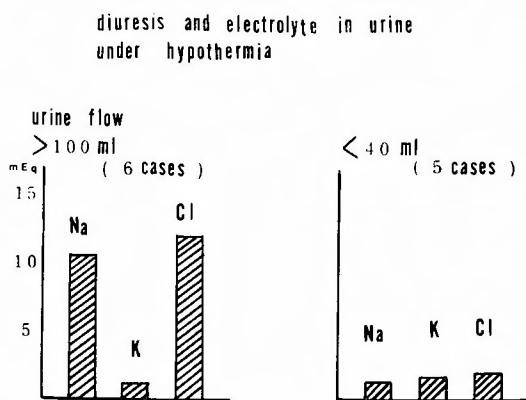


Fig. 21 輸液は 5% glucose によつた。

流遮断中は尿排泄がみられなくなる。併し、部分的体外循環開始と共に尿量は次第に増加し、部分体外循環中及び復温時には著明な利尿がみられるようになる。われわれの乳児期開心根治術症例についてみると、麻酔開始から復温終了時までの約 7 時間に平均 30cc/kg, 7 kg の乳児では 30cc/hour の割合で計 200cc の尿量を

みている。そして、翌朝までの 17 時間の尿量は平均 32cc/kg で、その比重は術後早期で平均 1.027, 術後後期で平均 1.021 となつているから、術中、術後を通じて比較的高調尿を大量に排泄するようになる。

ここで、冷却過程に於て多尿を示した症例と乏尿群をその尿中溶質排泄量を比べてみると、前者にあつては、電解質の少ない hypo-osmoler のものであるが Na, Cl の排泄量としては多く、Na 出納よりみれば負となる傾向が強い。一方尿量 40cc 以下の乏尿群にあつては、Na, Cl の排泄が抑制され、K/Na 比は 1.0 を上まわつている。これは、低体温下では、ブドウ糖代謝が非常に遅くそのため過量輸液になると浸透圧利尿がおこり Na, Cl を伴つて多量喪失となつたように思われる(第 21 図)。

術中及び術後にわたる 12 時間の尿中電解質排泄量を、術前 12 時間尿のそれと比較検討してみた。Na に関しては、術中術後 12 時間尿で 64.3mEq/m²/12hrs と術前 38.2mEq/m²/12hrs に比べかなりの増加がみられ、K 排泄量に関しては、術中・術後 12 時間尿にあつて 25.4mEq/m²/12hrs. と術前 6.2mEq/m²/12hrs に比べ著明な増加を示した。しかし、ここにみられる K 排

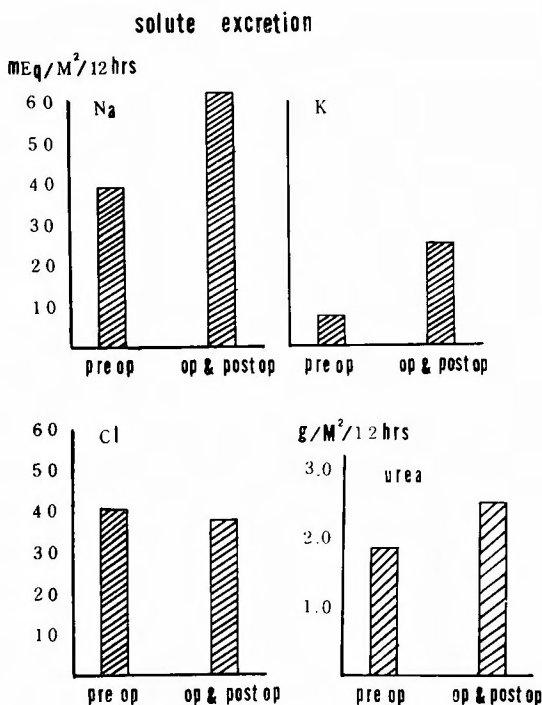


Fig. 22 8 例の平均値を示しこの際の輸液は主として 5% glucose によつた。

泄の増加は、手術侵しゅう、組織崩解、酸塩基平衡との関連などK代謝の特殊性があり、また血清K値の変化を常に考慮に入れて検討しなければならず、K出納をもつてその維持量は決定しがたい。尿中Cl排泄量も同様の傾向を示したが、低値を示したのは重そう水によりpHを補正したための影響と思われる(第22図)。

血清電解質についてみると、Na, Clは冷却時及び復温時に少々低下する傾向を示すが、その度合は著明なものではなく、略々正常の下限までに止まっている。そして、術後24時間目には略々正常値に復しているが、それに対して血清K値は冷却開始と共に低下し始め、復温終了時には平均3.46mEq/Lと最低値を示した。この血清K値の低下は細胞内Kの細胞外への逸脱と大量利尿によるK排泄の増大にその主因を求めることが出来るように思われるが、Respiratory alkalosisによる影響も看過出来ない。従来から、低体温法及び体外循環の施行後の低K血症については多くの報告を

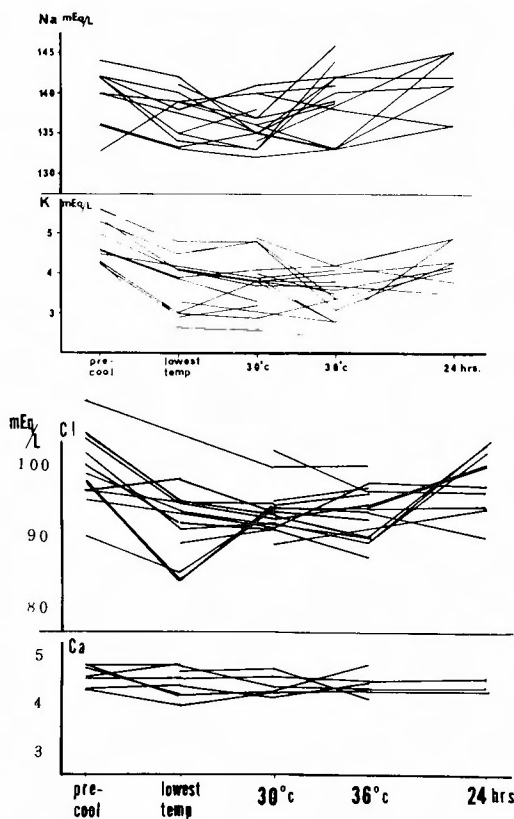


Fig. 23

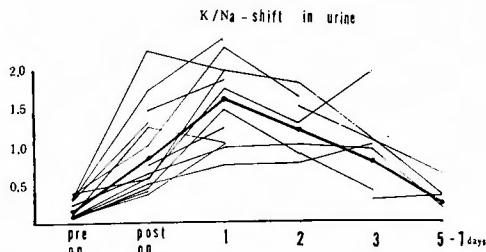


Fig. 24 尿中電解質 K/Na 値を経日的にみれば、術後24~36時間で高値を示すものが多い。

みるが、未だその詳細な機序については不明の点を多く残している。

併し、何れにしても、術中、術後の低K血症は心筋の被刺激性を亢め、不整脈や心室細動、術後の low cardiac output syndrome の発生にも大いに与つて居り、特にジギタリス剤使用時にはその中毒症状を発生し易く、甚だ危険とされ、Kの静脈内投与が推奨されていることは周知の如くである。われわれの乳児期開心根治術例ではK補給を行なわなくても、術後24時間目ともなると、それが略々正常に復しているが、以上のような実験成績が得られた点に鑑み、最近では細胞内K量というものを考慮して、術中及び術後早期からわれわれはKを含む補液を施行している。

また、人工心肺装置を以てする体外循環後には、有効循環血液量の減少と細胞外液量の増加が惹起され得るものであり、特にそれは心不全例に於て著しいことが指摘されて居り、このような点に対する配慮も、術中、術後の輸液を行なうに当たつては大いに考慮する必要がある(第23図、第24図)。

(i) 水分の補給

乳児は成人に較べて体水分が多く、特に細胞外液量は成人の20%に比べて、6ヵ月の乳児では35%にも達している。また、体重当たりの体重面積、基礎代謝率、不感蒸泄は何れも成人の約2倍に当たり、乳児の一日水分必要量は体重当たり成人の3倍にも達する。而も腎機能は成人に較べて稀薄力、濃縮力共に劣っているから、水分、電解質の失調を来し易いといえる。

併し乍ら、術後の適正輸液量については、乳児に限つてみても、諸家により 55~165cc/kg/day, 1,200~3,500cc/m²/day といったように著しい差異がみられ、最近までは Gross³⁷⁾が提唱したように術後患児を“on the dry side”におくことが強調され過ぎてきた

感みがある。而して、最近に至り乳幼児の術後水分、電解質の代謝についての研究が進歩するに伴ない、その適正な術後の輸液量は、乳児で凡そ $70\sim 100\text{cc/kg/day}$ あるいは、 $1,500\sim 2,150\text{cc/m}^2\text{day}$ であるとされるようになって来た。

他方、開心術後の輸液については、Sturtz 等は術後第1病日は $500\text{cc/m}^2\text{day}$ を、第2, 3病日には $750\text{cc/m}^2\text{day}$ を、土田³⁹⁾ は3～7才の年長幼児の心臓手術症例に対しては、術後第1病日に $1,100\sim 1,400\text{cc/m}^2\text{day}$ を、第2病日には $1,000\sim 1,400\text{cc/m}^2\text{day}$ を投与するのを以て夫々適正水分維持量とし、更に土田は Na, Cl に関して、第1, 第2病日を通じて $40\sim 50\text{mEq/m}^2\text{day}$ を、K は第1病日には投与せず、第2病日に $30\text{mEq/m}^2\text{day}$ 投与するのを以て基準維持量としているようである。

われわれは、乳児に於いては、代謝ひいては必要水分量は体表面積よりも体重によく相関することから、体重を基準として必要水分量を算出している。例えば、体重7kg、体表面積 0.35m^2 の乳児について、Sturtz³⁸⁾ の基準に則つてそれを算出してみると、術後第1病日は 25cc/kg/day 、第2, 3病日は 38cc/kg/day 、土田の規準に則つた場合には、第1病日 $52\sim 66\text{cc/kg/day}$ 、第2病日 $47\sim 66\text{cc/kg/day}$ ということになる。

また、乳児の輸液時の不感蒸排泄量は $50\sim 60\text{cc/kg/day}$ という報告が多く、乳児期の安全な腎濃縮力を $700\text{mOsm/kg}\cdot\text{H}_2\text{O}$ として、術後の最小必要尿量（義務尿量）を計算すると、 20cc/kg/day となるから、燃焼水 15cc/kg/day を差し引いても、輸液時の最小水分必要量は $55\sim 65\text{cc/kg/day}$ ということになる。

われわれは、前述もしたように、乳児期開心根治術後最も問題となる肺合併症を防止するために、術後2日間は顔面、頭部のみを $2\sim 30^\circ\text{C}$ 、湿度100%の酸素テント内に収容することとしているが、このため不感蒸泄の約1/3を占める肺からの蒸池と酸素テント内にある体表部分（乳児では体表の1/5～1/6に相当）からの不感蒸泄が共に約1/2程度に減少するものと考えられ、全体の不感蒸泄量は $40\sim 45\text{cc/kg/day}$ となる。従つて、術後の最小水分必要量は、われわれの症例では $45\sim 50\text{cc/kg/day}$ （最小必要尿量 20cc/kg/day 、燃焼水 15cc/kg/day として）ということになる。これに術後の特殊性、即ち、(i) 術後数日間は $37\sim 38^\circ\text{C}$ 、時には 39°C に及ぶ発熱をみると、(ii) 開心術後には細胞外液量の貯留が起り易く、輸液の過量は心不全を来たし易いこと、(iii) われわれの乳児期開心根治術

行症例では、術後何れも十分な利尿が認められたこと等を考慮して、乳児期開心根治術施行症例に対する水分投与基準量を、生後1～6ヵ月のものでは 65cc/kg/day 、生後6ヵ月～1年のものでは 60cc/kg/day 、生後1～2年のものでは 55cc/kg/day とした。

この基準量は、われわれの教室に於ける一般乳児外科手術の術後輸液量に較べると可成り控え目とはなつてゐるが、乳児期開心根治術施行症例では、通常術後24～48時間もすると、食餌の経口的摂取も可能となるから、輸液量は過量となるよりも控え目の方がよいものと考え、以上のような基準を採用するに至つてゐる。但し、尿量の多寡、発熱、発汗の有無等により適宜、時宜に応じて増減する必要のあることはいうまでもない。

(ii) 電解質の補給

開心術後の Na 投与の是非については種々論議の存するところであり⁴⁰⁾⁴¹⁾、Sturtz は Na 投与による水分貯留を避けるために Na の投与を行なわず、他方土田は年長幼児では術後 $40\sim 50\text{mEq/m}^2\text{day}$ 程度、即ち一般的外科手術の術後と略々同量の Na を投与する方法を採つてゐる。

われわれも術中から $30\sim 35\text{mEq/L}$ の濃度の Na を含有した液を上記水分投与量に相当して投与しているが、これは術中、術後に Na 排泄が増加することと、術中に Na を補給した方が開心術後の Osmolar clearance が大で、Negative free water clearance が小となり、Free water reabsorption が少なくなり、術後の体内水分及び Na の貯留が却つて少なく、尿量も増加するものと考えられ得るからである。また、Cl に関しても、Na と同量が少々それよりも控え目に投与する方針を採つてゐる。

K に関しては、一般外科手術のみならず、一般小児科手術に際しても、術後12～24時間は、その投与が差し控えられる場合が多いが、乳児期開心根治術施行症例では、血清 K 値の低下が既に術中から認められるに至る事実を知るに及び、而も術中からわれわれの提唱するような手段によつて心臓生、復温を図る限り充分な利尿のみられること、低 K 血症は心筋の被刺激性を亢め、不整脈、心室細動、Low cardiac output syndrome の原因となり得ること、また特にジギタリス剤使用時にはその中毒を発生せしめ易いこと、更には術後の胃腸管の麻痺を招来せしめ、横隔膜の挙上を促がし、呼吸不全の原因ともなり得ること等を考慮して、最近では術中から 20mEq/L 程度の濃度を有する

Kを上記必要水分投与量に応じて投与している。

開心根治術後の血清K値については、他の電解質に較べて特に注意を払うことが肝要で、全経過を通じて、乳児といえども4 mEq/Lを割らないように、出来得れば5 mEq/L程度にそれを維持するように努めなければならない。

開心根治術後24～48時間もすると、経口的摂取が既に可能となるのが通常であるから、非経口的栄養補給といったことは殆んど考慮する必要はなく、精々ケトージス防止という意味に於て4～7%の糖を上記水分投与量に相当して投与する程度である。

IV 結 語

従来小児科的姑息療法を以てするのみでは救命し難く、乳児期に死亡していた重症心室中隔欠損症、ファロー氏四徴症の乳児を外科的には如何に処理し、救命すべきかを臨床的立場から検討し、此处にその対策を画立し得た。

Bleeding time

TF	3 cases	7' 00" ~ 19' 30"
ASD	2	2' 30" ~ 3' 30"
VSD	24	2' 00" ~ 11' 30" (>5min 60%)

Table 5 先天性疾患は出血性素因を合併する例が多いと云われている。ファロー氏四徴症は別としても、心室中隔欠損症例で出血時間5分以上を示すものが60%も占める。

	precool	lowest temp	rewarm
prothrombin time sec	11.8	11.9	13.6
plasma recalc time sec	111.4	106.5	164.2
ptt sec	87.5	86.4	110.2
thrombo test %	70.2	72.4	37.7
platelet count × 10 ⁴	19.2	13.4	10.4

Table 6 低体温麻酔の際の合併症の一つとして出血傾向があげられている。低体温下の血小板減少率は30.2%、また復温時は、プロトロビン時間、カルシウム再加時間、PTT時間は延長しトロンボテストは減少した。しかし術後ヘパリン中和を完全に行なえば出血性傾向は問題ない。(10例平均値)

		precool	lowest temp	rewarm
HTC	%	39.4	37.5	41.0
RBC	× 10 ⁴	401	422	428
WBC		7,200	6,900	11,560
A/G		1.20	1.09	1.04
thrombocyte	× 10 ⁴	19.2	13.4	

Table 7 10例平均値を示す。

(1) スる乳児の心臓は極めて小さく、ひいては狭小な手術野を対象としなければならないから、充分な筋弛緩が得られ、motionlessのdryな手術野を得ることの出来る低体温麻酔法により対処することが極めて好都合と考えられる。

(2) 而も、スる乳児は既に術前から代謝性アシドーシスの傾向にあるから、それを助長する中心冷却法は敢くまでも避け、表面冷却法によるべきである。

(3) 安全且つ確実に局所の修復操作を行なうに充分な時間的余裕を確保し得る直腸温20℃前後の低体温状態を得るためには、Extravasationを防止すると共に、予めOxidative phosphorylationの円滑に行なわれている状態下にある個体を冷却するように努めるべきであり、この目的に対しては、われわれは現在術前予め不可欠脂酸を投与しておくという手段により対処しているが、血液性状の推移からしても、略々その目的の達し得られていることが臨床的に確認された。第5表、第6表、第7表。

(4) 開心根治術後の心蘇生、復温に際しては、手術局所の再破損、心筋障害を招来せしめる怖れのある心マッサージを避け、短時間内に安全に而も確実にそれを行なうことの出来る部分体外循環法の応用が適切と思われるが、これによると代謝面からしても極めて好都合であることが判明した。

(5) 乳児期開心根治術後の管理法についても吟味、その最大の要点が気道のHumidityの確保にあることが判明した。

(6) スる乳児の開心根治術に際しての水分、電解質輸液についても臨床的に吟味、その適量を決定し得た。即ち、水分投与量としては生後1～6ヵ月のものでは65cc/kg/dayを、生後6ヵ月～1年のものでは60cc/kg/dayを、生後1～2年のものでは55cc/kg/dayを輸液するのが適当であり、また術中から既に30～35mEq/LのNaと20mEq/LのKを投与することも亦

必要である。

(7) 乳児期開心根治術の適応についても臨床的立場から吟味し、心室中隔欠損症の乳児に対する根治術の絶対的適応は肺動脈/大動脈収縮期圧比が70%以上のものにあることを明らかならしめ得た。併し、それが70%を割るようなものにあつても、心不全を繰返えし、発育の著しく障害されるに至つたものに対しては、やはり乳児期開心根治術が施されて然るべきである。

(8) ファロー氏四徴症については、心血管造影法を駆使、応用することにより、右室流出路の機能的、形態学的変化を経時的に追求、その病像は生後常にProgressivは経過をたどるものであることから、年長となるに伴ない益々根治術の困難性が増大する可能性のあることを指摘し得たと同時に、Anoxic spellを頻発するようなファロー氏四徴症の乳児の多くが、根治術に充分耐え得るだけの太さを有する肺動脈を示すことを知つた。従つて、Anoxic spellを頻発するようなファロー氏四徴症の乳児に対しては、乳児期根治術が施されて然るべきであるとの考えに立ち至つた。

(8) 以上のような乳児期開心根治術の適応下にある重症心室中隔欠損症の乳児62名、Anoxic spellを頻発するファロー氏四徴症の乳児9名に対して、前述のような手段により根治手術を夫々施こし、前者に於ては5名(死亡率8%)、後者に於ては1名(死亡率11%)の死亡をみたに過ぎないという優秀な成績を収め得た。

稿を終えるにのぞみ、御指導と御校閲を賜つた恩師木村忠司教授、並びに終始直接御助言を戴いた日笠頼則助教授、城谷均講師に衷心から謝意を表します、協同研究者、村岡隆介博士、横田祥夫博士、河井淳博士、横田通夫博士に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) Mc. Quiston, O. : Anesthetic problem in cardiac surgery in children. *Anesth* **10** : 590, 1947.
- 2) Bigelow, W. G., Callaghan, J. C. and Hopps, J. A. : General hypothermia for experimental intracardiac surgery. *Ann. Surg.* **132** : 531, 1950.
- 3) Lewis, F. J. and Taufic, M. : Closure of ASD with the aid of hypothermia, on successful case. *Surg.* **33** : 52, 1953.
- 4) Swan, H., Zeavin, I., Blount, S. G. and Virtue, R. W. : Surgery by direct vision in the open heart during hypothermia. *J. A. M. A.*, **153** : 1081, 1953.
- 5) Bailey, C. P., Cookson, B. A., Downing, D. F. and Neptune, W. B. : Cardiac surgery under hypothermia. *J. Thor. Surg.* **27** : 73, 1954.
- 6) Hikasa, Y., Shirohani, H., Ogata, T., Saito, A., Tomioka, Y., Yoshida, Matsuoka, S., Baa, T., Tatsuta, N., Abe, K., Takeda, J. & Tsushimi, K. : Experimentelle und Klinische Erfahrungen über offene Herzchirurgie. *Arch. jap. chirur.*, **33** : 411, 1964.
- 7) Hikasa, Y., Shirohani, H., Satrmura, K., Koie, H., Abe, K., Tsushimi, K., Ban, T., Yokota, Y., Okamoto, Y. and Yokota, M. : Surgical treatment of cardiovascular aomalies in infants. *Jap. J. Toracic Surg.*, **14** : 603, 1966.
- 8) Kuwana, K. : Experimenteal and clinical studies on profund hynothermia. *Arch. jap. chirur.*, **31** : 158, 1962.
- 9) Saito, A. : Experimental and clinical studies on profound hypothermia. *Arch. jap. chirur.*, **31** : 132, 1962.
- 10) Shirohani, H., Kuyama, T., Tomioka, K., Saito, A., Kuwana, K., Tatsuta, N., Hikasa, Y., Hyodo, M., Murayama, R., Shibuya, K., Fujita, M. : Ueber unsere eihene, tiefe Unterkühlungsanästhesie. *Anästhesia (Masui)*, **10** : 8, 92, 1961.
- 11) Shirohani, H., Satomura, K., Ban, T., Tsushimi, K., Yokota, Y., Kawai, J., Fujita, M., Mori, K., Asawa, Y., Mitani, H., Mori, C., Tamura, T., and Yokoyama, Y. : Klinische Erfahrungen mit offener Herzchirurgie bei Säugling während seiner kritischer phase mit unserer eigenen, tiefen Unterkühlungsanästhesie. *Arch. jap. Chirur.*, **34** : 781, 1965.
- 12) Tomioka, Y. : Experimental studies on hypothermia. *Arch. jap. chirur.* **30** : 17, 1961.
- 13) Tsushimi, K. : Experimental studies on open heart surgery using blood sfreem cooling. *Arch. jap. chirur.*, **34** : 704, 1965.

- 14) Hikasa, Y., Shirotani, H., Satomura, K., Muraoka, R., Abe, K., Tsushimi, K., Yokota, Y., Miki, S., Kawai, J., Mori, A., Okamoto, Y., Koie, H., Ban, T., Kanzaki, Y., Yokota, M., Mori, C., Kamiya, T., Tamura, T., Nishii, A. and Asawa, Y. : Open heart surgery in infants with an aid of hypothermic anesthesia. *Arch. jap. chirur.*, **37** : 399, 1968.
- 15) Siggard, Anderson, O. : Blood acid-base alignment nomogram. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, **15** : 211, 1963.
- 16) Singer, R. B., Hastings, A. B. : Improved clinical method for estimation of disturbance of acid-base balance of human blood. : *Medicine*, **27** : 223, 1948.
- 17) Barker, S., B. and Summerson, W. H., W., H. : The calorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.* **138** : 535, 1941.
- 18) Friedmann, T. E., and Haugen, G. E. : Pyruvic acid, the determination of keto acids. *J. Biol. Chem.* **147** : 415, 1943.
- 19) Huckabee, E. E. : Relationships of pyruvate and lactate during anaerobic metabolism. Effect of pyruvate or glucose and of hyperventilation. *J. Clin. Invest.* **37** : 244, 1958.
- 20) Huckabee, W., E. : Relationships of pyruvate and lactate during anaerobic metabolism, Exercise and formation of O₂ debt. *J. Clin. Invest.* **37** : 255, 1958.
- 21) Huckabee, W., E. : Relationships of pyruvate and lactate during aerobic metabolism. Effect of breathing low oxygen gases. *J. Clin. Invest.* **37** : 264, 1958.
- 22) Noell, W. und Schneider, M. : Ueber die Durchblutung und die Sauerstoffversorgung des Gehirns. Die Rolle der Kohlensäure. *pflügers. Arch. Ges. Physiol.* **247** : 514, 1944.
- 23) Katy, S. S. and Schmidt, C. F. : The Effects of altered arterial tensions of carbon dioxide and oxide on cerebral blood flow and cerebral oxygen consumption of normal young men. *J. Clin. Invest.* **27** : 484, 1948.
- 24) Patrick, R., T., Kirklin, J. W., and Theye, R. A. : The effects of extracorporeal circulation on the brain.
- 25) Litwin, M. S., Panico, F. G., Rubini, C., Harken, D., E., and Moore, F. D. : Acidosis and lactic acidemia in extracorporeal circulation. *Ann. Surg.* **149** : 188, 1959.
- 26) Pontius, R. G., Watkins, E., Menheim, B. S., Allen, R. G., Sauvage, L. R. and Cross, R. E. : Studies of acid base derangement during total cardiac bypass. *Surge. Forum* **8** : 393, 1957.
- 27) Osborn, J. J. : Experimental hypothermia. Respiratory and blood pH changes in relation to cardiac function. *Am. J. Physiol.* **175** : 389, 1953.
- 28) Penrod, K. E. : Cardiac oxygenation during severe hypothermia in dog. *Am. J. Physiol.* **164** : 79, 1951.
- 29) Carson, S. A., Norris, L. E., Edmark, K. W., Johnes, T. W., Logan, G. A., Sauvage, L. R. and Thomas, G. I. : Acid base management for open heart surgery. *Circulation.* **29** : 456, 1964.
- 30) Ballinger, W. F., Vollenweider, H., Pierucci, L. and Templeton, J. Y. : Anaerobic metabolism and metabolic acidosis during cardiopulmonary bypass. *Ann. Surg.* **153** : 499, 1961.
- 31) Ballinger, W. F., Vollenweider, H., Pierucci, L. and Templeton, J. T. : Acidosis of hypothermia. *Ann. Surg.* **154** : 517, 1961.
- 32) Severinghaus, J. W. : Respiration and hypothermia. *Ann. NY. Acad. Sci.* **80** : 384, 1959.
- 33) Gleichmann, U., Löhr, B., Lübbers, W., Ringler, W., and Schmitz, T. : Untersuchungen zur Diagnostik und Therapie der metabolischen Azidose sowie über Blutgase bei Herzoperation mit extrakorporealer Zirkulation und Hypothermia. *Therachirurgie.* **11** : 251, 1963.
- 34) Gleichmann, U., Lohr, B., Ringler, W., and Ferbers, E. : Carbon dioxide exchange in the vertical screen oxygenator with addition of 3 per cent carbon dioxide in combination with moderate hypothermia. *J. Thorac. Cardio. Surg.* **45** : 628, 1963.
- 35) Matthews, E., C., Clark, L. C., Edwards, F. K.

- Kaplan, S., and Helmsworth, J. A. : Studies during the immediate postoperative period following total body perfusion. *Arch. Surg.* **77** : 313, 1958.
- 36) Carson, S. A., and Morris, L. E. : Controlled acid base studies with cardiopulmonary bypass and hypothermia. *Anesthesiology*. **23** : 618, 1962.
- 37) Gross, R. E. et al. : *Surg. Gynec. Obst.* **95** : 631, 1952.
- 38) Sturtz, G. S., Kirklin, J. W., Burke, E. C., and Power, M. H. : *Circulation* **16** : 988, 1957.
- 39) Tsutida, K. : *Jap. J. Surg.* **15** : 750, 1967.
- 40) Schmidtmeide, V. M. : Elektrolyt und Flüssigkeitshaushalt u s w in Zusammenhang mit der extrakorporealen Zirkulation. *Thoraxchirurgie* **9** : 90, 1961.
- 41) Norberg, B., Senning, A., and Tomaszewski, W. : Studies on the fluid and electrolyte balance after operation with extracorporeal circulation. *Act. Chir. Scandinav.* **120** : 237, 1960.
- 42) Cooley, D. A. & Hallman, G. L. : Surgery during first year of life for cardiovascular anomalies. *J. Cardiovasc. Surg.*, **5** : 584, 1964.
- 43) Keith, J. D., Rowe, R. D. & Vlad, P. : *Heart disease in infancy and childhood*. New York, The Macmillan Company, 1958.
- 44) Kirklin, J. W. & Dushane, J. W. : Repair of Ventricular septal defect in infancy. *Pediatrics*, **27** : 961, 1961.
- 45) Mori, C. & Tamura, T. : Treatment of Congestive heart failure in infancy and childhood. *Jap. Circulation J.*, **28** : 210, 1961.
- 46) Morrow, A. G. & Braunwald, N. S. : The surgical treatment of ventricular septal defect in infancy. The technic and results of pulmonary artery constriction. *Circulation*. **24** : 34, 1961.
- 47) Muller, W. H., & Dammann, J. F. : Treatment of certain congenital malformations of the heart by the creation of pulmonic stenosis to reduce pulmonary hypertension and excessive blood flow. *Surg., Gynec. & Obst.*, **95** : 213, 1952.
- 48) Sloan, H., Mackenzie, J., Morris, J. D., Stern, A. & Sigmann, J. : Open heart surgery in infancy. *J. Thoracic, Cardio. Surg.*, **44** : 459, 1962.
- 49) Therkelsen, Fr. & Andersen, O. : 200 operated cases of congenital cardiac lesions in infants : *J. Cardio. Surg.*, **5** : 619, 1964.
- 50) Carson, S. A., Morris, L. E., Edwark, K. W., Jones, T. W., Logan, G. A., Sauvage, L. R., and Thomas, G. I. : Acid base management for open heart surgery. *Circulation*. **29** : 456, 1964.
- 51) Neville, W. E. et al. : Profound hypothermia and complete circulation interruption *Arch. Surg.* **82** : 108, 1961.