

体外循環の研究

特に交叉循環法による灌流量の検討及び直視下心臓内手術の実験

金沢大学医学部第一外科学教室(主任 ト部美代志教授)

矢 崎 敏 夫

(昭和34年5月11日受付)

本論文の要旨は昭和31年10月22日東京における第9回日本胸部外科学会で発表した。

I. 緒 言

今世紀医学の発達には、手術の適応を広く拡張し、前世紀まで考えられなかつた心臓疾患の外科的治療を企ててさせるに至つた。心臓内手術を行うには心室を開いて直視下に行かねば確実とはいえない。現在直視下心臓内手術の手段として体外循環法と低体温法の二つが考えられている。体外循環法には人工心肺による方法と交叉循環による方法とがある。交叉循環は、Kerr¹⁾, Southworth & Perice²⁾ が1952年、直視下心臓内手術の目的で2頭の犬を使用し手術する犬の心血流を遮断し、一方の犬の動脈から手術側の犬の動脈へ、また、静脈から静脈へと血流を交換し、手術側の犬の心肺機能を代行せしめんとする実験を行つたことに始まる。しかし、この方法は Pump を用いず直接血管を連結するのみの所謂 Direct cross circulation で、pump を用い人為的に血流量を調節する方法を行つたのは Andreasen & Watson³⁾ で、これを Controlled cross circulation と呼んだが現在も Lillehei⁴⁾ は Controlled cross circulation と呼んでいる。これより約半世紀前、2頭の犬の動脈静脈をそれぞれ連結し血液の交換を行う実験は Jacoby⁵⁾ によつて始められ、次いで Bazett & Quinby⁶⁾, Firor⁷⁾, Thalheimer⁸⁾, Solandt & Best⁹⁾, Salisbury¹⁰⁾ などが追試或いは血液交換の実験として行つた。

一方 Gibbon^{11) 12)} Bigelow¹³⁾ 等は心への血液還流について研究を行い、O'Shaughnessy¹⁴⁾ は心血流を遮断すると10分間は生存できないことを述べた。1952年 Andreasen & Watson¹⁵⁾ は Azygos だけを開いて上・下大静脈を結紮すると35分は生存し、その流量

が8~14ccなることを測定してこれを Azygos factor と称した。

Gibbon¹⁶⁾ は人工心肺装置による心血流遮断の研究に大きな貢献をなし、1951年、Dennis¹⁷⁾ によつて始めて直視下心内手術の臨床例が試みられ、1953年、Gibbon¹⁸⁾ も成功した。その後、人工心肺による臨床例が Lillehei¹⁹⁾, Kirklin²⁰⁾, DeWall²¹⁾, Cooley²²⁾,²³⁾ 等多数の欧米の学者によつて試みられ、また我国においても多数の学者によつて試みられ、その成功率は次第に高くなつた。一方、交叉循環を用いて始めて直視下心内手術を行つたのは Lillehei^{24) 25)} (1954年) で32例を報告し、我国においても木本²⁶⁾ が1955年に1例を報告している。体外循環が安全に施行できる灌流量については多くの学者が個々の持論を持つており、Mustard²⁷⁾, Murray²⁸⁾, Miller²⁹⁾, Roger³⁰⁾, Schimert³¹⁾, Stokes & Gibbon³²⁾, Gott³³⁾, Helmsworth³⁴⁾, Kirklin³⁵⁾ などは人工心肺で60~120mmHgを示す位の高流量では30分から1時間の心血流の遮断に耐え得るといい、Merendo³⁶⁾, Sealey^{36, 37)}, Cooley²³⁾, DeWall²¹⁾, Diettert³⁸⁾, Dodrill³⁹⁾ 等は30~50mmHgの割合低流量では40分までの心血流遮断及び心操作に耐え得ることを立証している。Diesh⁴⁰⁾ は泡沫型人工心肺では70cc/minの高流量では脳の空気栓塞のためか死亡率高く、余り成績が良好でなく、寧ろ、25cc/kg/minの低流量では割合成績が良好なることを述べている。このように現在でも流量に関する限り確定した持論はなく、我国においても木本⁴¹⁾, 曲直部⁴²⁾, 井上⁴³⁾, 榊原⁴⁴⁾, などが研究を続けている。

生理的に近い灌流量即ち、高流量を流せば各臓器へ

Studies on Extracorporeal Circulation, with Special Reference to Performance of Controlled Cross Circulation. Toshio Yazaki Department of Surgery (I) (Director : Prof. Miyoshi Urabe), School of Medicine, University of Kanazawa.

の酸素供給がよく保たれるが、心切開を行つたとき冠血管からの出血が多いと考えられ、手術に困難を感じ且つ、大きな酸化装置を必要とし操作が困難であるという短所がある。反対に灌流量が少ないと冠血管からの出血が少なく手術操作が簡単に済み、また生体内の血液置換量が少ないのでそれに基く生体反応も軽度である。しかし、心血流遮断が長くなると臓器への酸素供給が少なくなり脳、心筋の不可逆性変化を招来し、死亡に陥ることになり血流遮断時間に一定の制約をうける。この灌流量の問題に対しては現在人工心肺の臨床例が多数施行されているにも拘わらず議論がなされている。Lillehei²⁵⁾は変叉循環法が親の心肺機能を利用しなければならないという、人工心肺からみれば重大な短所はあるにせよ、親からの血液供給が人工心肺より生理的で固定されていると述べている。著者は灌流量に対する心血流遮断の時間的制限を知る目的で変叉循環法を選び、その流量の基準を Andreassen & Watson のいう Azygos flow principle²⁶⁾にとつた。更に変叉循環による血液の供給が人工心肺のそれより生理的に近いことを確かめ、また親にかかる代償機能の負荷の安全性を知るために、血液の供給をうける子の体重を親よりも大きくし変叉循環を施行した。また親が子よりも大きい状態で30分の心血流遮断に耐えた流量で心臓内手術を行つた。

II. 研究方法

健康な雑種犬 112 頭を使用し、2 頭毎に一方を Donor (親、供血犬)、一方を Recipient (子、受血犬)、と一対にし次のように実験群を分けた。流量の基準は Azygos factor¹⁵⁾にとつた。

A. Donor が Recipient より大きいもの—A 群

1. 灌流量が Azygos factor と略々等しいもの (13cc~17cc/kg/min)—A₁ 群
2. 灌流量が Azygos factor の略々 2 倍のもの (20cc~30cc/kg/min)—A₂ 群
3. 灌流量が Azygos factor の略々 3 倍のもの (32cc~45cc/kg/min)—A₃ 群

B. Donor が Recipient より小さいもの—B 群

1. 灌流量が Azygos factor と略々等しいもの —B₁ 群
2. 灌流量が Azygos factor と略々 2 倍のもの —B₂ 群
3. 灌流量が Azygos factor の略々 3 倍のもの —B₃ 群

C.

以上の各群で心血流遮断30分を目標とし、なるべく

灌流量が少なく成績の良好と思われた A₂ 群の灌流量を用い、直視下心臓内手術を施行した。—C 群

以下、各群の記号は上記のものを使用する。全実験に使用せる犬の体重は Donor が 6~21kg, 平均 14.5 kg, Recipient が 7~20kg, 平均 10.9kg であつた。麻酔は Isomital (Sodium 5-ethyl 5-isoamyl barbiturate) 0.03~0.05g/kg, Ravonal (Sodium 5-ethyl 5-(1-methyl buthyl tiobarbiturate) 0.03~0.05g/kg を腹腔内或いは筋肉内に注射した。麻酔は犬の栄養状態並びに個体差に影響されることが多く、術前麻酔深度は或る程度同一状態にはならなかつたが、できる限り浅くし角膜反射が軽度に存在し、種々の刺激に反応を示す程度にした。Donor, Recipient 共全例に気管内挿管を行つた。また術前、一対の Donor, Recipient はガラス板法による変叉試験を行い、適合せるもののみを使用した。

1. 装置及び循環法

装置は 1 個の 5 翼型 DeBailey 氏型 Pump 或いは、1 個の DeBailey 氏型 Pump と 1 個の Metal finger 型 Pump と血管に挿入する Vinyl tube から成つている。灌流量は Pump の回転数に比例し、毎分 90~600cc の間で自由に調節できる。Mc Caughan⁴⁵⁾等はこの型に属する Pump は 10~600mmHg の抵抗に無関係に一定の流量を得るので簡単且つ確実な流量計であるといっている。この考えから、実験前に Pump を回転して灌流量を調節した。図 I のように 5 翼の DeBailey 型 Pump に 2 本のゴム管を挿入し各流量を同量になるように調節した。理論的には左右同量になる筈であるが、多い方は Klemme でゴム管を緊迫して調節した。回路に使用する硝子器具の内面は何れも Silicone (DC 200 Dow Corning 会社製) で処理した。

変叉試験に適合した犬 2 頭を麻酔し、Recipient に充分 O₂ 補助呼吸を行いつつ、第 4 肋間で右開胸術を施行し、図 II のように神経を避け細い Vinyl の Tape を上・下大静脈及び Azygos に通しておく。右大腿動・静脈、右内頸動脈、右浅頸静脈を露出する。一方、Donor は左大腿動、静脈、右大腿静脈を露出する。

血管へ挿入する Canula は Polyethylene 或いは、Vinyl 管で犬の大小によつて直ちに取換えられるように幾種もの太さのものを用意した。Recipient の上及び下大静脈に挿入する Canula は側孔が 10 数個あけてある。Canula の内径は、2mm, 4mm, 7mm, の 3 種を使用し、Pump に挿入するゴム管は硬質で内径 5mm のものを使用し、Canula とは硝子管で連結し、回路途中に泡抜きをおき空気栓塞を予防した。回路内は

図 I DeBakey 型 Pump
DeBakey 型 Pump (5 翼)

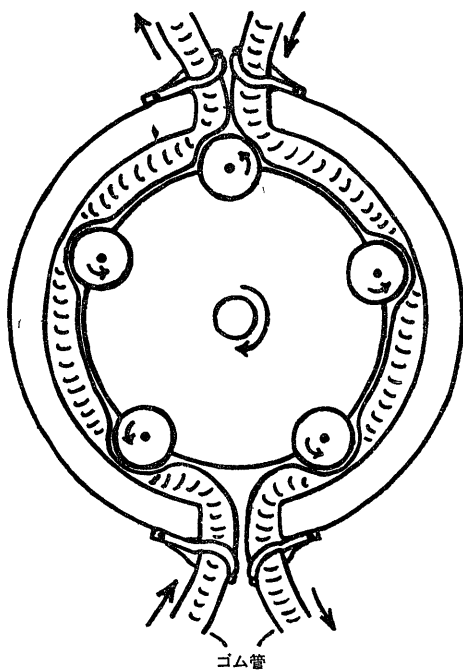


図 II Vinyl tape を上下
大静脈, Azygos へ通す。

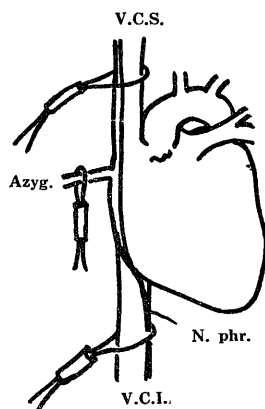
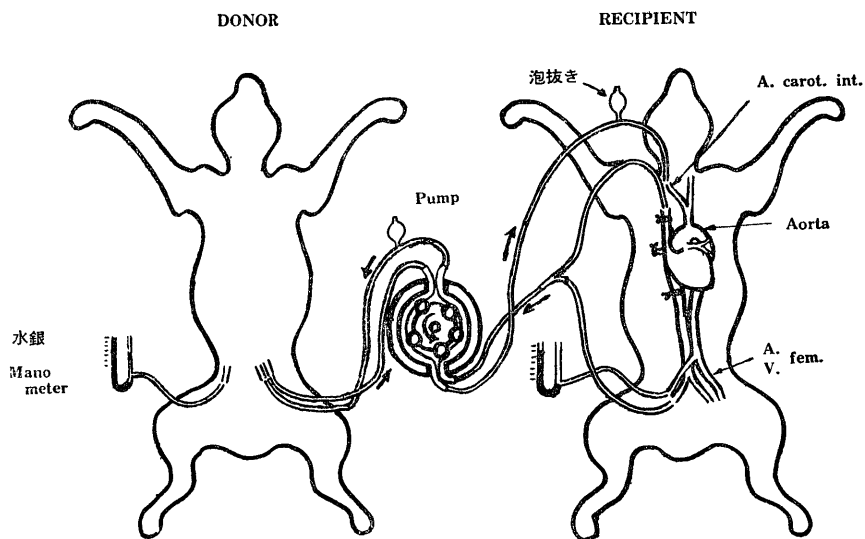


図 III 交叉循環の模式図

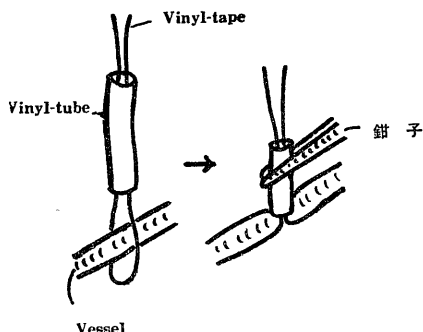


Pump に連結したあと、予め Osvan (Takeda) の 100 倍液で 1~2 時間充満し消毒し、使用時、Ringer 氏液で 3, 4 回洗滌し、さらに 2 回生理的食塩水で洗滌して最後に 100cc 当り 1mmg の割合に Heparin を混入した生理的食塩水で満たした。回路内の Dead space は 120~150cc であつた。Canula の先端は

Kocher 鉗子で止めて Canulation を終了するまでその儘にしておく。Canulation の前に Donor, Recipient にそれぞれ体重 1kg 当り 3~5mg の Heparin を静注し、Recipient, Donor のそれぞれ右下腿動脈に水銀血圧計を導結する。

Canulation は Recipient から行い、まず大腿静脈

図 IV 血管遮断の方法



から下大静脈中で横隔膜下へ、浅頸静脈から上大静脈へとそれぞれ、大静脈へ挿入する。また露出した内頸動脈へ 5~6cm proximal へ挿入する。Donor の方へは露出した大腿動静脈から僅か proximal へ挿入する。Recipient の上及び下大静脈へ挿入した Canula は Y 字管で連結されて 1 本になり Pump を経て Donor の大腿静脈へ導かれ、Donor の大腿動脈からは Pump を経て Recipient の頸動脈へ導かれるように回路の管を連結する。従つて静脈血は Recipient の上・下大静脈から吸引されて Donor の大腿静脈へ入り、動脈血は Donor の大腿動脈から Recipient の内頸動脈を経て大動脈へ注入されることになる。(図Ⅲ) Recipient の上・下大静脈及び Azygos の遮断は図 IV のように血管に通した細い Vinyl tape に Vinyl の管を通し、それを血管側の方へ押しやつて血管を緊迫させ、Kocher 氏鉗子で固定する。この遮断を施行する前に Pump を回転し、Donor 及び Recipient の血圧の落着くのを待ち且つ Recipient の補助呼吸は遮断まで続ける。遮断後直ちに Donor に純酸素を送り、Recipient には時々肺の萎縮を防止する程度に補助呼吸を行つた。このようにして Recipient の心は空虚となり、その混合静脈血が Donor の肺で酸化され、Recipient は完全にその心肺機能を Donor に委ねる訳である。

遮断解除は徐々に Tape を外して行い、急に心臓に血液が流入して膨大するのを防ぐ。直ちに Recipient に純酸素の補助呼吸を施行する。Donor にはその必要がない。Canula を抜去する前に Donor の血圧を遮断前に比較して高ければ徐々に Recipient の方へ注入し、低くければ Donor の方へ吸引するといったように調整を行う。大体 Donor の血圧が遮断前に還つたところで Canula を抜去し、装置内の血液を Recipient に注入し、少々過剰気味にする。術後、大腿静脈より Ringer 氏液、糖液、Glycoalgin 時には新鮮血液、強

心剤を一般状態に応じて点滴静注を続けるのはいうまでもない。心室を開いたものは冠状洞からの出血が相当あるので術中吸引して廃棄し、同量の輸血或いは輸液を施行した。硫酸 Protamin は使用しなかつた。術後水性 Penicillin 30 万単位を筋注し 2 日間毎日 30 万を投与した。閉胸時、胸腔へ Drain を挿入し翌日抜去した。

灌流に耐え得た証拠としてはその実験犬の永久生存を確かめる訳であるが、DeWall⁴⁾は灌流後 5 時間以内に覚醒し同時に中枢神経系の障害を残さなかつた場合に短時間内の一応の「目やす」としている。著者の実験には DeWall²¹⁾の意見を参考にし、翌日(大体 12 時間後)、流動食を摂取し、中枢神経に障害を認めなかつたものを生存例とし記載してある。

2. 検査事項

血液 Sample は、術前及び遮断中、遮断後採取した。この際、O₂ 接触を防ぐために流動 Paraffin で外気と隔絶した注射器で採取し、2cm 以上の厚さに流動 Paraffin を入れた試験管に封入した。Heparin の作用が失われると予想されるものには、凝固阻止剤として血液 20cc に一刀尖の蔞酸 Kalium (普通には血液 100cc に一刀尖で充分である)を混入した。術前は、犬を麻酔し軽度の純酸素呼吸を行つた後に、Recipient の大腿動・静脈より採取した。遮断中は回路中のゴム管より各々採取した。こうすると Recipient の静脈血は混合静脈血となるが単に静脈血と呼ぶことにする。以下の事節につき検討した。

1) Hematocrit 値, Sample を Wintrobe 氏管に入れて 3000 回転 30 分間遠心して測定した。

2) pH 値, 硝子電極 pH 計(飯尾電機株式会社)を使用した。

3) 酸素含量, 炭酸ガス含量, Van Slyke-Neill 大型検圧器⁴⁶⁾を使用して分析した。

4) 酸素飽和度, Sample の O₂ 含量 (Vol%) とその Sample に充分空気を通し O₂ で飽和したときの O₂ 含量を測定し、次の式より求めた⁴⁷⁾。

$$\text{O}_2 \text{ 飽和度} = \frac{\text{被検血の O}_2 \text{ 含量 (Vol\%)} - \text{被検血中物理的に溶解している O}_2 \text{ 含量 (Vol\%)}}{\text{飽和血の O}_2 \text{ 含量 (Vol\%)} \times \text{Ht 補正} - \text{飽和血中物理的に溶解している O}_2 \text{ 含量 (Vol\%)}}$$

5) 炭酸ガス分圧 (Pco₂), pH, CO₂ 含量, (mM/l), Hematocrit の 3 者から Singer-Hasting Normogram⁴⁸⁾を用いて求める訳であるが Van Slyke で測定した CO₂ 含量は Vol% なのでこれを mM/l に換算するには mM/l × 2.226 = Vol% で行い、さらに温度補正の係数を加味する。

6) 緩衝塩基 (BufferBase B_B^+) Pco_2 と同様に Singer-Hasting Normogram⁴⁸⁾ から求める。

7) 糖代謝, 焦性葡萄糖は Dinitrophenylhydrazin 法⁴⁹⁾, 乳酸は p-Hydroxydiphenyl 法⁵⁰⁾, 糖は Hagedorn-Jensen 定量法⁵¹⁾ を用いた。

8) 血漿 Hemoglobin, Flink⁵¹⁾ の Pyridin 発色比色法¹⁰⁰⁾ で測定した。

9) 酸素消費量, 遮断前の酸素消費量は, Douglas に 2~3 分間の呼吸を集め, その O_2 量と吸気 (室内外気) 中の O_2 量を測定して算出した。遮断時の酸素消費量は灌流量と動・静脈酸素較差より算出した。

酸素消費量 = (A - V) O_2 × 灌流量 (cc)

A : 動脈血中 O_2 量 (Vol%)

V : 静脈血中 O_2 量 (Vol%)

10) 肝臓機能検査, 高田反応⁵³⁾, Cobalt 反応⁵³⁾ また Cholinesterase 量の測定⁵⁴⁾ を行つた。

11) 心電図。福田の心電計を用い Recipient Donor

の心電図を追跡検討した。

なお本論文中遮断とあるのは心血流遮断, 解除とあるのは心血流遮断解除のことである。

III. 研究成績

1. 交叉循環時の動物の一般状態

1. A 群 : Donor が Recipient より大きい場合。

灌流量を Azygos flow と等しくした A₁ 群, Azygos flow の 2 倍とした A₂ 群, Azygos flow の 3 倍とした A₃ 群についてそれぞれ血流遮断時間を 10~40 分間にした時の成績を表 I に示した。Recipient の成績として A₁ 群では 8 例中 5 例生存して生存率は 62%, A₂ 群では 10 例中 8 例生存し 80% (No. 28 の事故死を生存例へ入れると 90% になる。注 : 以下の Data は No. 28 を除外してある。), A₃ 群では 6 例中 5 例で 83% であつた。生存例は遮断解除後 3~5 時間, 遅くても 12 時間後に覚醒し起坐ができるようになり食餌を摂取す

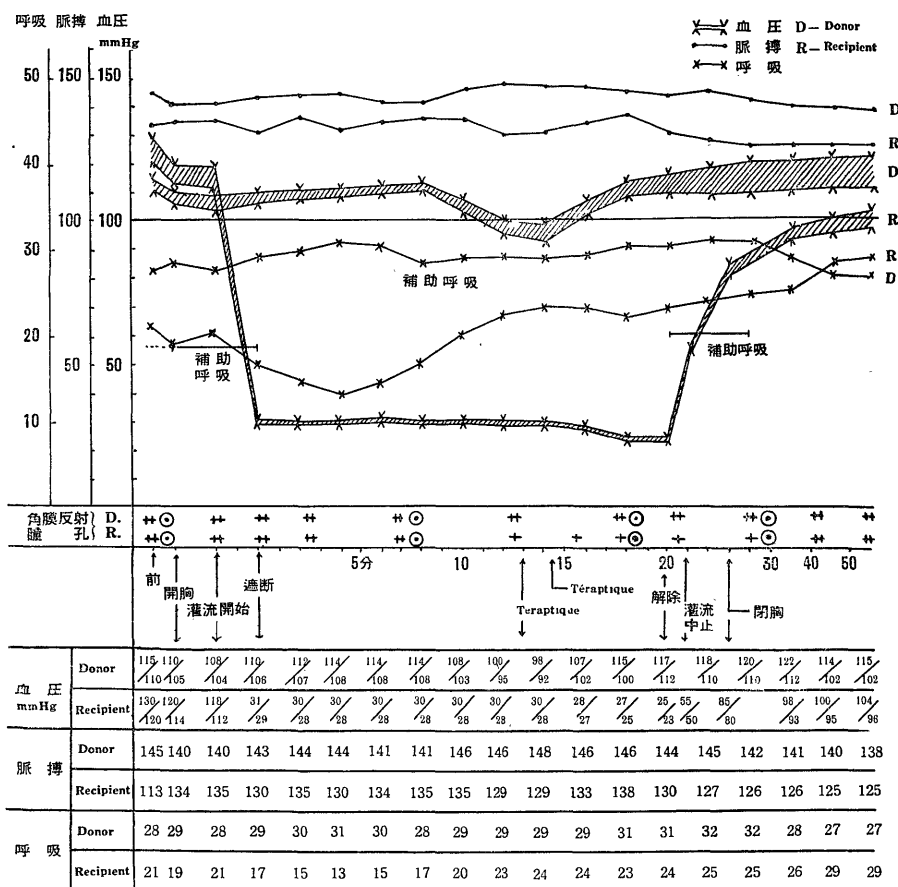
表 I 実験成績 (I) Donor > Recipient

実験群	実験番号	体重 kg		流量		遮断時間 min	転帰 (Recipient)
		Donor	Recipient	cc/min	cc/min/kg		
A ₁ 群 (Azygosflow) × 1	1	18.5	13.0	170	13	10	生存
	2	14.5	7.5	100	14	10	"
	3	15.0	10.0	140	14	15	"
	4	15.0	10.0	150	15	20	"
	6	18.0	13.5	200	15	20	5 時間後死亡 Unbalance (Filaria)
	7	16.0	10.0	160	16	20	生存
	8	18.5	14.0	240	17	20	14 時間後死亡, 胸腔内出血
	10	14.0	9.5	140	15	30	6 時間後死亡, 心衰弱
A ₂ 群 (Azygosflow) × 2	21	10.0	9.0	180	20	13	生存
	22	16.0	10.0	210	21	15	"
	23	17.0	11.5	280	25	15	"
	24	15.0	10.0	250	25	15	"
	25	9.0	8.0	240	30	18	"
	27	14.5	7.5	200	28	20	"
	28	16.0	8.5	230	28	23	48 時間後, 事故死
	29	14.0	7.0	170	27	25	生存
	30	16.0	9.0	260	29	30	"
	31	15.0	10.0	280	28	40	6 時間後死亡, 心衰弱
群 A ₃ (Azygosflow) × 3	41	11.0	10.0	370	37	15	生存
	42	7.5	7	280	40	20	"
	43	16.0	8.0	360	45	20	"
	45	8.5	8.0	300	38	20	5 時間後死亡 Unbalance 胸腔内出血
	46	17.0	7.5	280	40	30	生存
	47	16.5	1.0	400	40	40	"

備考 : Donor は全例生存

図 V 交叉循環中の一般状態 (I)

No. 4 { D. 1nkg. 流量 15cc/Min/kg. 遮断20分間



る。Donor には 1 例の死亡もなく Recipient より覚醒が早く、2~3 時間遅くても 5 時間であつて食餌の摂扱も早い。

(i) A₁ 群：灌流量を Azygos flow. と等しくした群

Recipient の成績として血流遮断 15 分以内のものは全例生存したが、20 分のものは 2 例生存し 2 例が死亡した。A₁ 群の代表的な例と思われる No. 4 の一般状態の経過は図 V に示した。心臓への血流を遮断すると血圧は直ちに 25~30 mmHg に下降する。脈差は非常に小さくなる。この血圧は遮断中略々固定しており、脈搏の増加も著名ではない。遮断後 15 分までは角膜反射も普通に存在する。遮断後 15 分になると血圧は 20~25 mmHg となり角膜反射も稍々遅鈍となる。灌流 15 分以内では自発呼吸も存在するが早く浅くなる。開胸のため肺が萎縮無気肺となり、少量の冠循環をよりよくするため時々 Bag を圧迫して O₂ を送り肺を膨脹

させておく。灌流 15 分以上になると自発呼吸が殆んど消失するものがある。解除後、直ちに血圧は 50~70 mmHg 位に上昇するが、No. 1, 2, 3 のように 15 分以内に遮断解除を行つたものは血圧の回復、角膜反射の回復も早い。No. 7 などのように血圧が術前値までに回復しないものは 90~100 mmHg を示し、徐々に上昇の傾向を示す。No. 6, 8, 10 などの死亡例はいずれも遮断時間が 20 分以上のものであり、遮断 20 分を過ぎると脈搏が次第に減少し角膜反射が遅鈍或いは消失し瞳孔も中等度或いは、それ以上に散大し、遮断解除後、血圧の上昇回復に要する時間は延長し脈差が大きくなり脈搏も減少してくる。呼吸は生存例に比べると小さく早くなる。これに対して Donor の態度は Recipient に比べて灌流の影響が少ない。灌流 15 分以内では血圧は大した下降を示さない。呼吸は Donor の自発呼吸に合わせて Bag を押し純 O₂ を吸入させる。血圧は軽度の上昇を来たすようになる。遮断 20 分

を過ぎると脈搏、呼吸は稍々増加してくる。遮断解除後、血圧呼吸、脈搏の回復が早く、No. 6 のように剖検で心腔内に *Filaria* を認め、灌流中恐らくこれが *Canula* に狭窄をおこし、動静脈系の血流を障害し *Umbalance* の原因となつたと考えられる例でも、灌流後徐々に血液を送り血圧を調節した結果、不愉快な合併症を認めなかつた。要するに *Azygos flow* に等しい流量では心血流遮断許要時間は15分から20分近くが限度であつた。

(ii) A_2 群：灌流量を *Azygos flow* の2倍にした群

Recipient は血流遮断30分以内において No. 28 の事故死を除き、全例生存した。遮断40分のは心衰弱で死亡した。この流量で心血流遮断を行うと *Recipient* の血圧は 35—45mmHg となり、脈差が 3—5 mmHg に固定する。15—20分の遮断では脈搏、呼吸、角膜反射には特に著しい変化が認められない。(図VI)

遮断 15—20 分を過ぎると血圧がさらに 5mmHg 内外下降して 30—35、或いは 35—40mmHg を示すようになるが、脈搏の変化は余り大きくはない。呼吸は20分を過ぎると早く小さくなる。25分を過ぎると脈搏が稍々減少し角膜反射も稍々遅鈍となつてくる。生存例即ち血流遮断30分以内のものでは遮断解除を行うと血圧は直ちに 50—70mmHg となり脈圧も 5—10mmHg と小さく、脈搏も減少はしないで寧ろ増加の傾向にある。角膜反射の回復も早い。血圧は次第に上昇して、解除後 30—60 分で略々術前値に近くなる。血圧 100 mmHg 以下のものでも、*Théraptique*, *Neosynesis* などの昇圧剤の少量投与、輸血輸液によく反応する。No. 31 のような死亡例では(図VII)、解除後血圧が生存例のように 50—70mmHg 回復しても10分後には再び次第に下降の傾向を示し、昇圧剤や、輸血輸液で一時的改善されてもすぐ下降する。脈圧が六きく 20—30mmHg に達することがある。脈搏は解除前から次

図 VI 交叉循環中の一般状態 (II)

No. 30. { D. 16kg. 流量 { 260cc/M. 遮断30分間
R. 9kg. 29cc/M.K.

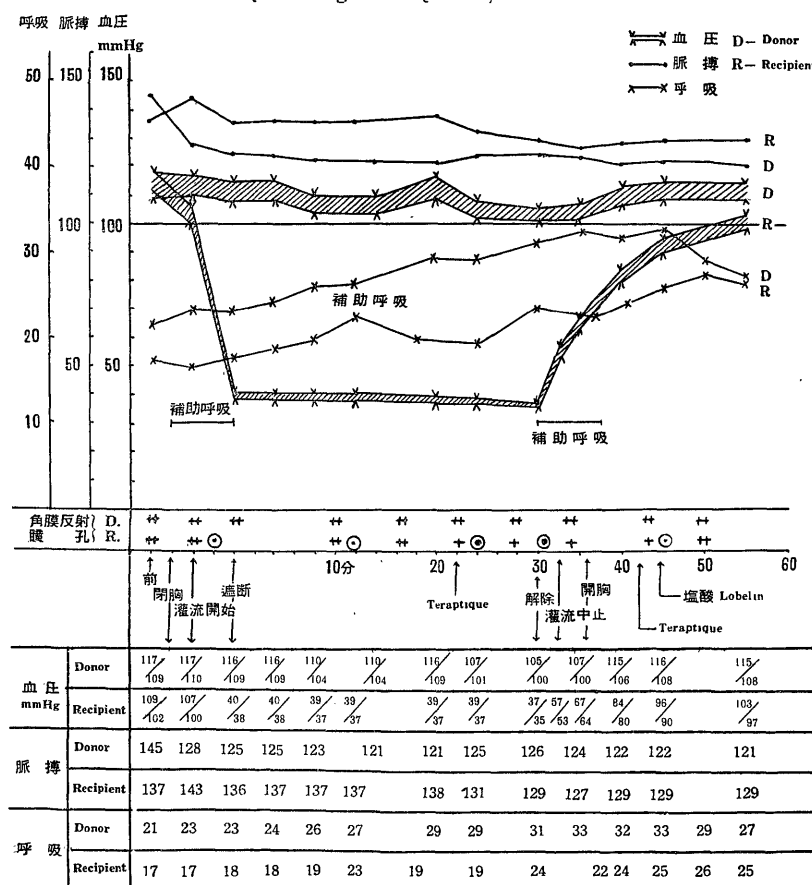
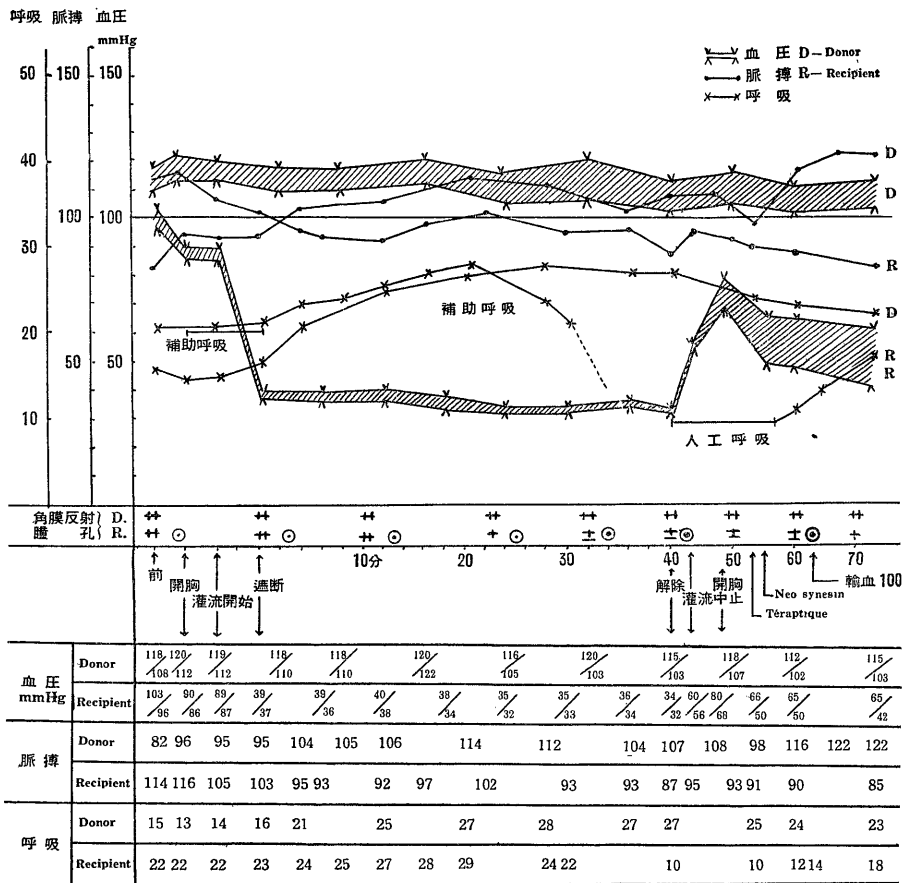


図 VII 交叉循環中の一般状態 (Ⅲ)

No. 31. { D. 15kg. 流量 { 280cc/M
R. 10kg. 280cc/MK. 遮断40分間

第に減少し、解除後も減少して術前の約 $\frac{1}{2}$ 倍になる。角膜反射も時々容易に回復しないでこのような状態が続いて死亡する。瞳孔は遮断35分前後において中等度拡大し、解除後充分な O_2 呼吸を行って稍々改善されるが、角膜反射の遅鈍と合わせて次第に悪化の傾向を辿る。Donor では遮断後次第に呼吸数が増加し術から 27 までに上昇し、脈搏も 80 から 100 位にまで増加するが、血圧或いは角膜反射など自律神経系の変化は著明でない。呼吸は灌流中は全然消失しないで増加し大きくなる。

(iii) A₃ 群：灌流量を Azygos flow の 3 倍にした群

この群の流量は正常心搏出量の $\frac{1}{2}$ 乃至 $\frac{1}{4}$ であるが Recipient は 40 分間の血流遮断に耐え得た。遮断後 Recipient の血圧は 45~55mmHg となり脈圧は小さい。血圧は遮断後 20 分頃まで殆んど変化を来さないので、30 分を過ぎるとさらに 5mmHg 前後低下する。

脈搏は遮断 20 分までは余り変化を認めないが、次第に増加の傾向をとる。角膜反射は 30 分を過ぎると次第に遅鈍になる。遮断 30 分以内のものであれば、遮断解除後血圧も回復が早く、30 分位で術前値近く示すようになり 100mmHg 以下の低いものでも、昇圧剤によく反応して回復の兆がみられる。脈圧も大きくなり、20mmHg 以下で脈搏は稍々増加する。呼吸は遮断中も継続的に存在し、停止したものでも遅くても解除後 10 分前後には回復する。遮断 40 分を過ぎると解除しても血圧の回復が遅かったり、自発呼吸の再開、角膜反射の回復も遅延する。要するに Azygos flow の 3 倍量で灌流した場合は 40 分以内の血流遮断には耐え得るが、著者の使用した Pump は少量灌流用なので Pump の流量の上限へくると誤差が大きくなり、unbalance の原因となり易く、必ずしも好結果が得られなかつた。より容量の大きい Pump を使用すれば容易にできるものと思われる。Recipient の血液の供給源であ

る Donor は前 2 群のように流量の少ない場合と比較すれば、心肺機能の仕事が大きくなるのは当然で、その結果呼吸が大きく早く、脈搏も前 2 群に比べて早くなる。しかし遮断解除後の恢復は前 2 者と比べて有意の差はなく、覚醒も殆んど同程度で充分 Recipient の供血犬として完うし得た。

2. B 群：Donor が Recipient より小さい場合 Donor が遮断中 Recipient の心肺機能を代行しているわけであるが、流量が少なければ少ない程、また灌流時間が短かければ短かい程、また Donor の体重が Recipient のそれよりも大きければ大きい程、Donor の負荷は軽減されると考えられる。逆に流量が多くなればなるだけ、灌流時間が長ければ長い程、また Donor が Recipient よりも体重において劣るようになると Donor の負荷が非常に大きなものになることが考えられる。従来行われた交叉循環の動物実験或いは、交叉循環による直視下心臓内手術の臨床例においてはこのような試みがなされたものはない。この Donor が Recipient よりも小さい場合の基礎的な実験がなされて Donor が小さくても安全であることが立証されておれば、体重が同程度のもの、極端な場合は体重の劣るものを Donor にとつての交叉循環を安心して施行できる訳である。この意味において Donor を小さくした場合 Recipient が如何なる反応を示すか

またはどれ程 Donor として耐え得るかを観察した。その成績を第 II 表に示した。15 例 30 頭のうち Recipient の生存が 8 例（生存率 53%）、Donor の生存は 14 例で死亡は僅か 1 例のみであつた。灌流量が多ければ多い程、灌流時間が延長すればする程、また体重差が大きければ大きい程、Donor の負担が大となり、それに比例して心肺機能の代行をうけている Recipient の状態は悪くなってくる。No. 115 はその代表的な例で、遮断中 Donor は約自己心搏出量の $\frac{1}{3}$ 量余計の血液（心搏出量が 100cc として計算すれば、Donor の 1350cc 心搏出量/分に対して 450cc/分は約 $\frac{1}{3}$ に当る。）を酸化せんとして心肺機能が過大なる負担を負い、そのために Donor の脈搏、呼吸が増加し Recipient はこの O_2 の少ない血液をうけて一層重要臓器への O_2 供給が不良になる。この悪循環の結果 Recipient の脈搏は増加或いは中枢麻痺性の Druckplus となり遮断解除後、角膜反射は容易に恢復せず、また血圧も 50～60mmHg で術前に恢復する傾向もなくして 8 時間後、全身衰弱のため死亡した。生存例 No. 113 の状態を第 VIII 図に示す。血流遮断後の Recipient 血圧は A 群と余り差がない。即ち灌流量 25cc/min/kg のこの例では、遮断後血圧が 35～40mmHg に固定しその後 5mmHg 内外の変動はあるが大した差を示さない。特異なのは Donor の態度で A 群に比べて遮断後の脈搏

表 II 実験成績 (II) Donor < Recipient

実験群	実験番号	体重 kg		流量		遮断時間 min	転 帰 (Recipient)
		Donor	Recipient	cc/min	cc/min/kg		
B ₁ 群 (Azygosflow) × 1	101	8.0	12.5	150	13	11	生 存
	102	9.5	20.0	260	13	15	"
	103	9.5	15.0	190	14	15	"
	104	10.0	20.0	300	15	15	8 時間後死亡、窒息
	106	15.0	18.5	230	13	20	2 時間後死亡 Unbalance (Filaria)
	108	13.0	19.5	250	13	25	16 時間後死亡、心衰弱
B ₂ 群 (Azygosflow) × 2	111	6.0	10.0	210	21	15	生 存
	112	12.0	20.0	460	23	17	"
	113	8.0	12.0	300	25	18	"
	114	10.0	16.0	400	25	20	"
	115	13.5	18.0	450	25	30	8 時間後死亡、全身衰弱
B ₃ 群 (Azygosflow) × 3	121	8.0	12.0	410	34	15	生 存
	122	10.5	15.5	530	35	15	"
	123	10.5	14.0	450	32	20	4 時間後死亡、Unbalance
	124	6.0	12.0	480	40	20	18 時間後死亡、胸腔内出血
	125	8.0	12.0	480	40	20	6 時間後死亡、Unbalance

備 考 No. 115 は Donor 死亡、12 時間後全身衰弱、他の Donor は全例生存

表 III 実験成績 心操作を加えたもの (III) (C群)

実験 番号	体 重		流 重		遮断 時間 min	心操作 時 間	心か らの 吸引 重cc	心操作及び転帰 (Recipient)
	Donor	Recipient	cc/min	cc/min/kg				
201	9.0	9.0	180	20	13	6'30"	105	右心房切開 3時間後死亡, 窒息
202	17.0	9.5	230	25	15	5'20"	95	" 5時間後死亡 Unbalance (Filaria?)
204	14.0	7.5	200	28	20	6'10"	125	" 生 存
205	16.5	8.0	220	28	18	5'30"	110	" "
206	14.0	7.0	190	27	21	7'50"	158	右心室切開 "
207	14.0	7.0	190	27	19	4'40"	92	" "
209	16.5	8.5	230	28	19	11'20"	210	" "
210	14.0	7.5	200	28	17	9'10"	185	" "
211	14.5	11.0	280	25	11	7'50"	163	" "
212	8.0	8.0	240	30	18	6'30"	124	左心室切開 "
213	21.5	16.0	400	25	18	8'10"	175	" 12時間後死亡 Unbalance
214	10.0	9.0	220	24	29	13'20"	306	心室中隔欠損形成並びに閉鎖 8時間後死亡 胸腔内出血
215	14.0	10.0	280	28	25	7'50"	173	心室中隔欠損形成 14時間後死亡, 心衰弱
216	10.5	9.0	220	24	10	7'10"	180	心室中隔欠損形成 生存
217	9.5	9.0	230	25	18	10'20"	245	心室中隔欠損形成並びに閉鎖 生存
218	13.0	10.0	280	28	18	8'30"	195	心室中隔欠損形成 生存

備 考 Donor は全例生存

であつて、心操作でも心室切開だけに止まつたものは心室中隔を操作したものに比べて死亡率が低い。生存例における一般状態の変化は図に示すように A₂, A₃ 群と余り変化は認められない。(図 IX) また死亡例でも他の死亡例のように遮断解除後、血圧の回復が遅れる。脈搏は次第に減少して心衰弱の傾向を示してくる。角膜反射も遅鈍となり、瞳孔の散大も著明になってくる。この流量が13分以内の心操作に対して不快なる心室細動は1例も認められなかつた。しかし A₂ 群即ち灌流量を Azygos flow の2倍にした交叉循環だけの場合は30分の血流遮断に耐え得たが、これと同流量で心臓内手術を施行した場合には、血流遮断許容時間が短縮して約20分であつた。

2. 交叉循環時の心電図

交叉循環時の動物の心電図の変化を観察するに当り主として第Ⅱ誘導によつて観察した。比較的血流遮断時間の長いもの、及び死亡例において時間の推移に従つて心電図の変化が観察される。Recipient の心電図は No. 7, No. 29, No. 25, No. 46, No. 47, No. 214 の6例について Donor の方は No. 30, No. 45, No. 108, No. 215 の4例について観察した。Recipient の No. 29, No. 214 の所見を図に示した。(図 X 左) 遮断の開始と共にすべての症例に R 棘高の低下がみられる。その高さは術前の略々 1/2 またはそれ以下となる。

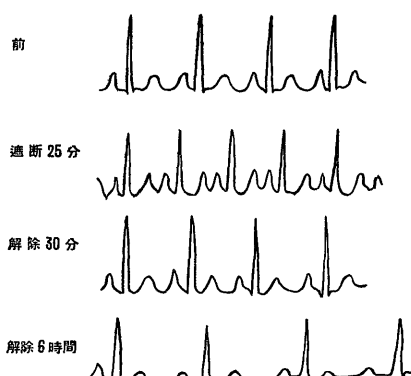
ST, T 下降, T 平低化, T の増高, 2 相性 T の出現がみられ血液遮断の時間の推移と共に悪化の傾向がある。No. 29 のような生存例においては解除後 R 棘の増加がみられ、約1時間後でも軽度に存在する。これに反して No. 214 のような死亡例においては R 棘は解除後も増加することなく寧ろ低下しており、1時間後においても何ら改善される兆がない。なお No. 214 においては QRS に不完全脚 Block が認められるが(図 X 右)、これは心切開、心室中隔欠損作成並びに閉鎖などの侵襲を加えたための刺激伝導系の障礙に基くものであらうと思われる。一方 Donor の心電図は No. 30 にみられるような特別な心障の所見をみ出せない。(図 XI) 遮断20分を過ぎると ST の軽度の下降を認めるが解除後30分的心電図ではよく改善されている。

3. 交叉循環時の血液性状の変化

1. Hematocrit 値 (表 IV, V, VI, VII, VIII)

すべての例に遮断後 Hematocrit 値の低下がみられた。これは回路内の食塩水混入及び点滴による血液の希釈のためと思われる。各群に差はなかつたが手術前に比べて遮断中においては 1%~6%の減少を示した。心室切開を施行した例では、心からの出血のため輸液を行つたために低下を示したものがある。生存例と死亡例との間に差を認めなかつた。

図XI 交叉循環中の心電図 (第II誘導)
No. 30. Donor. (遮断30分 28cc/M.K.)



2. 血中 O_2 含量と動・静脈血 O_2 較差

(表 IV—VIII. IX. 図 XII. XIV.)

手術前の血中 CO_2 , O_2 含量は麻酔の深度, 補助呼吸の程度及びその持続時間によつて大きく影響されるのでできる限り条件を同じょうするために努めた. 麻酔の影響には個体差が著しいので術前 O_2 , CO_2 含量にはそのための動揺がさげられない. Donor が Recipient より大きく, 灌流量を Azygos flow に等しくした A_1 群 7 例における遮断前の動脈血中 O_2 含量は 14.3~19.5Vol%, 静脈血中 O_2 含量が 8.9~12.5Vol% でありその動静脈血 O_2 較差は 2.7~7.3 Vol% であつた. 生存例, 死亡例いずれにおいても正常範囲内で両者には有意の差が認められなかつた. 血流遮断を行うと Recipient の血中 O_2 含量が低下し Donor が Recipient の肺機能を代行するので術前の Balance. が壊れる. 遮断後10~30分後の O_2 含量は動脈血では 15.4~18.2Vol% で術前と余り変わらないのに反し静脈血では 4.1%~8.7Vol% となり著明な低下を示すのでその動静脈血 O_2 較差は 9.1~13.2 Vol% となり自然著明に大きく開いてくる. 死亡例では心血流遮断時間が20分以上に亘るものなので時間の推移と共に動脈血中 O_2 含量が余り変化しないが静脈血 (混合静脈血) の O_2 含量が低下するため動静脈血 O_2 較差が特に大きくなる. この現象は遮断解除後も著明に現われてくる. 遮断解除後10~30分の O_2 含量は術後 Recipient に対する補助呼吸の程度によつて異なるが, 多くの例は自発呼吸があるので補助呼吸をなるべく軽度止め, 純 O_2 呼吸をさせたので条件は大体同様とみられる. 即ち遮断解除後の O_2 含量は, 動脈血では 8.9~16.4Vol% と遮断前, 及び遮断中のそれよりは軽度に低下し, 就中静脈血では 3.7~10.5Vol% となり遮断前よりは著明に低下し, 動静脈血 O_2 較差は, 4.9~

7.5Vol% で遮断前より稍大である. この中生存例では血流遮断解除後 O_2 含量は動脈血, 14.7Vol%, 静脈血, 8.5Vol%, 較差, 6.2Vol% で遮断前に比較して著明な差異を示さないが, 死亡例では, 動脈血, 9.6 Vol%, 静脈血, 4.3Vol% で著明に減少を示す. (表 IX) ただこの場合 O_2 較差には余り差がない. 灌流量を Azygos flow の2倍にした A_2 群においては, 術前の O_2 含量は動静脈血とも A_1 群と殆んど差異がない. 遮断中の O_2 含量は A_1 群に比べて動脈血において約 2Vol% 内外. 静脈血において約 1Vol% 内外多いが動静脈 O_2 血較差には殆んど差異を認めない. 生存例においては心血流遮断を解除しても余り動脈血中 O_2 の含量が低下しないのに対し死亡例においては遮断解除後著明な低下を示すのは A_1 群と全く同様な傾向である.

灌流量を Azygos flow の3倍量にした A_3 群においては心血流遮断前は O_2 含量が A_1 群と略等しい値を示しており遮断中も動脈血及び静脈血中の O_2 含量には殆んど有意の差を認めないが, 遮断中における動脈血 O_2 含量は A_2 群のように増加はしないで寧ろ A_1 群と同様遮断前と余り変らない値を示す. これは A_3 群において, Donor が代行処理すべき血液量が多く, 且つ心血流遮断時間の長いものが多く, 血液の Sample 採取時間も遮断後長く経過しているためとされる. 即ち Donor の血液処理代行機能が充分でないためかとも考えられる.

Donor が Recipient よりも大きい B_1 B_2 B_3 群においては, Recipient の肺機能を代行しなければならない Donor の負担が大きくその代行処理すべき血液の多少が再びもどつて Recipient に影響を与えることになるのであろう.

灌流量が Azygos flow と等しい B_1 群においては, 図或いは表に示すように A_1 群と変らない. 即ち遮断前の O_2 含量は生存例, 死亡例共に動脈血において 13.5~20.5Vol%, 静脈血において 8.7~13.2Vol% で殆んど変らない. 遮断中にあつても動脈血, 15.4~19.3Vol%, 静脈血, 5.8~9.8Vol% で A_1 群よりは寧ろ満足すべき高値を示している. この流量においては自己よりも大きな Recipient の肺機能を充分に代行できるのである.

流量が大きく Donor の負担が重くなるにつれて動脈・静脈血中の O_2 含量が低下してくる. 灌流量が Azygos flow の2倍量の B_2 群においては遮断中及び遮断解除後に余り著明な低下はみられない.

灌流量が Azygos flow の3倍量の B_3 群になると動脈血・静脈血の O_2 はいずれも遮断中, 遮断解除後

に低下を来たすようになり、特に遮断解除後に著しい低下を認め、且つ生存例と死亡例との間に余り相異を認めないようになり Donor が Recipient の肺機能の代行に支障を来たしてることが分る (図IX)。

交叉循環中心臓内手術を行つた C 群においては遮断前、遮断中、遮断解除後ともに血中 O_2 含量は A 群と余り変らない。また生存例、死亡例の間に著明な差を認めないのは生存死亡の原因が血中 O_2 含量だけによるのではなく他の Factor 例えば心臓内手術の侵襲によるものと思われる。

3. 血中 CO_2 含量と動静脈血 CO_2 較差

(表 IV-VIII, IX) (図 XII, XIII, XIV)

各群の遮断前の血中 CO_2 含量の値は先に述べたように調節呼吸、補助呼吸の程度、Sodalime の新鮮度その他によつて著しく影響をうける。心血流遮断中の CO_2 含量は動脈血において遮断前よりも減少し静脈血において増加しているのでその動静脈血較差が大となり、Recipient の各臓器に蓄積した CO_2 がよく排除されていることが分る。その状態は流量が比較的多い A₂, A₃, C 群は A₁ 群よりも優れている。また Donor

の負担の程度の大きい B₂, B₃ 群は B₁ 群に比べて特に動脈血の CO_2 含量が増加し、静脈血 CO_2 含量が余り増加せず CO_2 較差が余り大きくならない状態即ち Recipient の臓器に蓄積した CO_2 が充分に排除されていない状態が予想されたが、結果は余り著明な差はなかつた。各群の死亡例においてはこれと対蹠的に血流遮断時に、動静脈血 CO_2 較差は余り増大せず、特に A₃, B₂, B₃ 各群の死亡例においては CO_2 較差が増大せず、Recipient の CO_2 が充分排除されていないか、または Donor が Recipient の CO_2 を充分に処理し得ないことが認められる。

4. 血中 O_2 飽和度 (表 IV-VIII 及び IX) (図 XV)

Donor が Recipient より大きい A 群では測定した 15 例のうち生存の 9 例の動静脈血 O_2 飽和度は灌流量の多少に拘わらず遮断前、遮断中、遮断解除後余り大きな差は認められなかつた。即ち遮断前の O_2 飽和度は動脈血、91.3-97.9%, 平均 94.0-97.5%, 静脈血、44.7-75.1%, 平均 53.1-64.4% で生存例、死亡例の間にも有意の差が認められなかつた。遮断中は Donor から酸素を附加された血液が Recipient に供

表 IV 交叉循環時の血液諸性状 (A₁ 群)

実験 番号	遮断 時間 min	採血時期	Ht %	pH		血中 O_2 含 量 Vol%		O_2 較差 (A-V) O_2 Vol%	血中 CO_2 含 量 Vol%		CO_2 較差 (V-A) CO_2 Vol%	O_2 飽和 度 %		P_{CO_2} mmHg		緩衝塩基 mEq/L		転 帰
				動脈	静脈	動脈	静脈		動脈	静脈		動脈	静脈	動脈	静脈	動脈	静脈	
1	10	前	32	7.32	7.26	19.5	12.5	7.0	38.5	43.1	4.6	96.8	61.0	34	46	39	40	生
		遮断後 10'	30	7.21	7.18	17.8	8.7	9.1	33.4	38.4	5.0	97.2	46.7	40	49	35	35	
		解除後 30'	30	7.20	7.14	15.3	7.9	7.4	34.2	39.5	5.3	96.0	48.4	42	55	35	35	
2	10	前	36	7.44	7.40	14.8	12.1	2.7	41.8	44.8	3.0			33	38	45	45	生
		遮断後 10'	34	7.38	7.34	16.9	8.8	8.1	38.5	44.4	5.9			29	40	39	40	
		解除後 30'	34	7.39	7.32	13.7	8.4	5.3	38.4	43.4	5.0			33	42	41	41	
4	20	前	41	7.38	7.35	16.5	9.8	6.7	36.2	38.5	2.3	96.9	56.3	32	34	40	39	生
		遮断後 15'	38	7.31	7.28	18.2	6.7	11.5	36.2	41.4	5.2	97.4	35.1	35	44	38	39	
		解除後 30'	37	7.34	7.31	16.4	10.5	5.9	31.5	37.8	6.3	91.3	49.5	30	37	39	40	
6	20	前	36	7.46	7.45	16.6	9.3	7.3	43.5	49.0	5.5	94.7	53.1	31	36	45	44	死
		遮断後 10'	33	7.19	7.19	15.4	5.3	10.1	35.9	46.6	10.7	93.7	34.4	50	60	39	37	
		解除後 30'	32	7.16	7.10	10.3	4.5	5.8	36.5	44.4	7.9	90.2	29.8	50	68	36	36	
7	20	前	39	7.38	7.36	14.3	10.5	3.8	42.5	44.4	1.9			36	40	43	42	生
		遮断後 10'	36	7.32	7.30	17.3	4.1	13.2	36.9	47.7	10.8			33	47	39	42	
		解除後 20'	36	7.30	7.24	13.5	6.0	7.5	34.7	42.9	8.2			36	48	38	39	
8	20	前	37	7.40	7.32	15.2	8.9	6.3	38.2	44.2	6.0			32	43	41	41	死
		遮断後 10'	33	7.12	7.10	17.2	7.3	9.9	35.8	40.6	4.8			50	61	34	35	
		解除後 30'	33	7.10	7.05	9.7	4.8	4.9	23.8	33.8	10.0			33	52	27	30	
10	30	前	38	7.48	7.44	16.1	12.7	3.4	39.5	46.3	7.8	97.4	75.1	30	35	44	45	死
		遮断後 20'	35	7.25	7.21	17.3	7.5	9.8	41.1	48.2	7.1	92.7	46.6	45	59	41	41	
		解除後 30'	33	7.20	7.13	8.9	3.7	5.2	40.2	45.1	4.9	71.2	28.9	51	63	39	37	

表 V 交叉循環時の血液諸性状 (A₂ 群)

実験 番号	遮断 時間 min	採血時間	Ht %	pH		血中O ₂ 含 量 Vol%		(A-V)O ₂ Vol%	血中CO ₂ 含 量 Vol%		(V-A)CO ₂ Vol%	O ₂ 飽和 度 %		Pco ₂ mmHg		B _{st} mEq/L		転 帰
				動脈	静脈	動脈	静脈		動脈	静脈		動脈	静脈	動脈	静脈	動脈	静脈	
21	13	前	38.7	7.30	7.27	18.3	12.5	5.8	39.2	45.1	5.9	95.6	64.0	41	49	41	40	生
		遮断後 10'	34.7	7.18	7.18	20.7	10.3	10.4	34.4	41.4	7.0	96.4	59.1	45	54	36	37	
		解除後 20'	34.7	7.20	7.18	16.3	10.3	5.8	38.6	45.5	6.9	96.6	54.4	46	58	36	38	
22	15	前	36.7	7.30	7.29	12.5	7.5	5.0	35.7	45.6	5.9			39	45	41	41	生
		遮断後 10'	34.7	7.28	7.18	16.9	5.9	11.0	31.5	39.2	7.7			34	49	37	36	
		解除後 10'	34.7	7.27	7.18	13.9	7.7	6.2	34.6	41.5	6.9			36	52	38	37	
24	15	前	38.7	7.52	7.50	18.0	13.3	4.7	35.6	46.8	11.2			42	47	43	42	生
		解除後 10'	36.7	7.30	7.26	16.0	9.8	6.2	43.4	46.5	3.1			44	53	41	42	
25	18	前	41.7	7.35	7.26	20.7	12.5	8.2	32.3	40.5	8.2	93.4	48.2	29	45	39	39	生
		遮断後 10'	39.7	7.19	7.17	21.8	8.0	13.8	32.6	42.2	9.6	96.0	34.7	42	54	35	38	
		解除後 10'	39.7	7.18	7.12	15.4	7.5	7.9	33.6	38.0	4.4	95.9	45.7	44	55	35	35	
27	20	解除後 30'	35.7	7.28	7.25	1.48	10.3	4.5	30.1	39.3	9.2	96.8	65.6	32	43	38	37	生
28	23	前	36.7	7.42	7.39	18.2	8.9	9.3	49.0	54.3	5.3	94.0	44.7	38	44	47	46	死
		遮断後 20'	34.7	7.26	7.21	15.2	5.4	9.8	45.5	51.9	7.4	90.0	31.2	49	62	43	41	
		解除後 30'	34.7	7.15	7.11	12.3	3.2	9.1	43.5	48.2	4.7	86.9	22.1	60	70	38	38	
29	25	前	38.7	7.42	7.40	21.3	15.5	5.8	39.3	43.0	3.7			31	35	43	43	生
		遮断後 20'	35.7	7.36	7.32	17.5	9.8	7.5	34.2	42.1	8.9			30	41	39	41	
		解除後 30'	35.7	7.38	7.33	16.5	10.5	6.0	32.1	38.2	6.1			29	34	40	40	
30	30	前	42.7	7.44	7.41	16.8	13.0	3.8	38.5	41.6	3.1	96.4	72.5	29	34	44	45	生
		遮断後 25'	40.7	7.34	7.32	18.6	9.8	8.8	31.4	43.2	11.8	96.1	49.5	30	42	39	42	
		解除後 10'	40.7	7.36	7.29	14.3	7.9	6.4	36.3	40.7	4.4	93.6	50.7	34	44	41	41	
31	40	前	34.7	7.32	7.30	19.6	12.9	6.7	39.2	41.3	2.1	94.0	61.8	38	43	41	42	死
		遮断後 30'	30.7	7.26	7.10	17.1	7.1	10.0	38.5	47.0	8.5	94.4	48.3	43	69	39	37	
		解除後 20'	30.7	7.06	7.05	10.7	3.9	6.8	36.5	45.5	9.0	95.0	26.3	59	72	33	34	

給されているので余り飽和度に低下を示さないで90%以上の飽和度を示している。静脈血は遮断中流量の少ないA群においてO₂飽和度20%前後の低下を示したに反し、流量の多いA₃群では3~4%の低下をみた過ぎなかつた。遮断解除後、各群の動脈血のO₂飽和度は遮断時よりも1~5%前後の低下を示したが、著明に低下したものでその低下の度は10%で、82%のO₂飽和度を示していた。静脈血のO₂飽和度は遮断解除後、遮断時よりも10%前後上昇したがA₃群においては殆んど増加しなかつた。これに対してA₁群の死亡例においては遮断中の動脈血O₂飽和度は生存例とそれと異つていた。即ち生存例より10%以上低く、80%前後のO₂飽和度を示した。しかしA₂、A₃群においては生存例との間に殆んど有意の差が生じなかつた。(図XV) 静脈血のO₂飽和度は遮断中5~20%と

著明な減少を示し、遮断解除後さらに10%以上の減少を示した。

Donor が Recipient よりも少ないB群においてはNo.106, No.115を除き動脈血のO₂飽和度は血流遮断中は殆んど低下せず、遮断解除後も遮断時と変わらない。灌流量の多いB群においては約10%の低下をみた。B₁、B₂、B₃群における静脈血O₂の飽和度はA群と同様遮断中減少し、遮断解除後軽度上昇するものもあるが、軽度の低下を示すものもある。B群の死亡例においては、動脈血のO₂飽和度が遮断中及び遮断解除後に遮断前より次第に減少し、悪いものは70%台の飽和度を示した。静脈血のO₂飽和度も遮断中、遮断後に減少しO₂欠乏の像を示している。心臓内手術を施行したC群の血中O₂飽和度はA群のものと余り差を認めなかつた。

表 VI 交叉循環時の血液諸性状 (A₃群)

実験 番号	遮断 時間 min	採血時間	Ht %	pH		血中O ₂ 含 量 Vol%		(A-V)O ₂ Vol%	血中CO ₂ 含 量 Vol%		(V-A)CO ₂ Vol%	O ₂ 飽和 度%		Pco ₂ mmHg		B _E ⁺ mEq/L		転 帰
				動脈	静脈	動脈	静脈	Vol%	動脈	静脈	Vol%	動脈	静脈	動脈	静脈	動脈	静脈	
41	15	前	39	7.21	7.20	17.5	12.6	4.9	36.4	37.3	6.9			45	48	37	38	生
		遮断後 10'	36	7.10	7.08	22.2	9.6	12.6	28.3	34.0	5.7			44	53	31	31	
		解除後 10'	35	7.20	7.15	10.9	2.6	8.3	39.4	44.0	4.6			48	58	37	37	
42	20	前	38	7.29	7.25	12.3	7.9	5.1	33.8	36.5	2.7	95.4	54.2	34	42	38	39	生
		遮断後 15'	34	7.24	7.16	10.1	4.9	5.2	27.7	43.0	15.3	82.6	38.2	32	57	34	37	
43	20	前	34	7.29	7.25	14.2	9.4	5.5	35.9	38.9	4.0	97.3	47.1	36	42	38	38	生
		遮断後 15'	30	7.31	7.27	15.7	5.4	8.9	31.8	39.5	7.7			32	41	37	38	
		解除後 30'	30	7.23	7.20	10.3	7.8	2.5	31.5	37.8	6.3			39	45	36	35	
45	20	前	36	7.40	7.38	14.9	9.8	4.4	44.5	48.9	4.4	95.6	64.4	35	44	44	45	死
		遮断後 15'	30	7.17	7.05	14.3	8.5	7.2	41.2	41.2	6.0	93.4	57.4	56	67	37	35	
		解除後 30'	30	7.09	7.05	10.3	3.6	6.7	33.6	40.8	7.2	90.2	23.8	52	70	30	33	
46	30	前	40	7.28	7.22	1.46	8.3	6.3	37.8	43.1	5.3	91.3	50.2	40	53	40	40	生
		遮断後 20'	36	7.39	7.28	1.69	6.6	9.4	35.4	41.1	5.7	94.5	52.1	30	44	41	40	
		解除後 30'	36	7.32	7.30	1.23	7.9	4.4	39.4	43.1	3.7	90.3	43.1	37	45	41	42	
47	40	前	36	7.44	7.41	1.43	8.4	5.9	49.5	50.5	1.0	95.6	54.9	38	43	48	47	生
		遮断後 30'	34	7.31	7.29	1.58	7.3	7.5	42.1	49.8	7.7	96.5	62.4	43	54	43	43	
		解除後 30'	34	7.30	7.22	1.06	6.9	3.7	42.6	45.4	2.8	88.1	58.4	43	53	41	40	

5. pH (表 IV~VII及びX)

47例の遮断前の動脈血 pH をみると呼吸性 Acidosis を示したもの (7.21 : No. 41) と, 呼吸性 Alkalosis を示したもの (7.52 : No. 24, No. 207) などがあったが多くの正常範囲内にあつた。表に示すように各群の平均値は生存例で 7.33~7.41, 死亡例で 7.30~7.47, 両者の間には有意の差がなかった。静脈血の pH は動脈血の pH より稍低く, 酸素を以ての調節呼吸による動静脈血の Balance を維持する前に採血した場合ほど両者の差が著しかった。血流遮断後10分を過ぎると動脈血の pH は減少し Acidosis を示し, 時間の経過と共に次第に減少の傾向を示す。減少の程度は平均 0.03~0.23 で, 20分, 30分と経過したものは減少の程度が著しい。生存例における遮断中の pH の減少が遮断前に比べて平均 0.03~0.16 に対し, 死亡例では平均 0.06~0.23 を示した。静脈血の pH は遮断中 Recipient の各臓器におけると予想される代謝性 Acidosis を反映している。生存例においては遮断前より平均 0.06~0.16 減少するに対し, 死亡例では平均 0.13~0.33 減少した。遮断解除後, 生存例では遮断時より pH の減少は著明でなく寧ろ上昇の傾向さえ現われているに反して死亡した例では一層減少の傾

向が強い。静脈血においても同様なことがいえる。

6. 血中 CO₂ 分圧 : Pco₂ (IV~VIII 及び表 IX)

いずれの例も術前動脈血における Pco₂ の値は正常範囲の下限, 35~40mmHg を示しているがこれは補助呼吸による軽度の呼吸性 Alkalosis によるものである。殆んど正常範囲内であるといえよう。血流遮断時, 動脈血の Pco₂ は僅かに上昇し而も正常範囲内にあるが, 静脈血の Pco₂ は, 特に死亡例において上昇し 40~70mmHg の値を示し軽度の呼吸性 Acidosis を来す。これは流量の少ない A₁, B₁ 群において特に著明に認められた A 群よりも B 群に著明であり, 特に遮断時間の長い死亡例においては著明に起つてくる。これは主に Recipient の各臓器に起る CO₂ 蓄積によるものである。遮断解除後はさらに生存例と死亡例との間に差異が顕著に認められる。即ち各群における生存例の動脈血 Pco₂ は 35~40mmHg で正常範囲にあり, 静脈血 Pco₂ も 45~50mmHg で殆んど正常範囲内に止まるに反し, 死亡例においては動脈血が 0~60mmHg 前後の呼吸性 Acidosis を示し, 静脈血は 60~80mmHg の高値を示す。これは B 群, 即ち, Donor の肺機能の負担の大きいものに特に顕著である。

表 VII 交叉循環時の血液諸性状 (B. 群)

実験群	実験番号	遮断時間 min	採血時間	Ht %	pH		血中O ₂ 含量 Vol%		(AV-)O ₂		血中CO ₂ 含量 Vol%		(V-A) CO ₂		O ₂ 飽和度 %		Pco ₂ mmHg		B _B mEq/L		転帰
					動脈	静脈	動脈	静脈	Vol%	動脈	静脈	Vol%	動脈	静脈	動脈	静脈	動脈	静脈	動脈	静脈	
B ₁	101	11	前	37	7.38	7.37	20.5	13.2	7.3	27.0	33.7	6.7	94.0	58.0	23	29	40	39	生		
			遮断後 10'	34	7.30	7.28	18.3	9.2	9.1	31.1	37.8	6.7	95.8	47.6	34	40	37	39			
			解除後 30'	34	7.29	7.26	15.4	8.7	6.7	32.8	36.8	4.0	96.2	52.1	33	41	37	38			
	102	15	前	34	7.45	7.43	13.5	11.5	2.0	33.8	38.9	5.1	94.2	77.1	25	30	40	41	生		
			遮断後 10'	31	7.21	7.20	19.3	9.8	9.5	36.2	44.9	8.7	97.0	53.2	43	54	38	40			
			解除後 20'	30	7.24	7.19	14.5	8.3	6.2	32.9	38.2	5.3	91.3	46.8	37	47	35	37			
	106	20	前	40	7.26	7.26	14.8	8.7	6.1	35.1	41.3	6.2	96.0	55.1	37	45	39	40	死		
			遮断後 15'	34	7.12	7.10	15.5	8.3	7.2	29.2	38.7	9.5	89.6	65.1	43	55	33	33			
			解除後 30'	34	7.05	7.03	8.8	4.8	4.0	29.5	33.2	2.5	83.7	33.4	54	60	30	31			
	108	25	前	35	7.35	7.33	16.5	10.7	5.8	33.4	39.6	6.2			31	38	39	41	死		
			遮断後 15'	32	7.08	7.04	15.4	8.2	7.2	28.6	36.7	8.1			45	60	30	32			
			解除後 30'	32	6.98	6.96	10.1	5.4	4.7	30.5	34.5	7.0			57	74	27	29			
B ₂	111	15	前	38	7.42	7.40	10.5	6.8	3.7	39.5	46.5	7.0	92.8	58.1	31	38	43	43	生		
			遮断後 10'	35	7.28	7.24	15.9	6.1	9.8	39.7	49.3	9.6	96.4	37.3	34	55	40	41			
			解除後 10'	35	7.29	7.26	12.9	5.8	7.1	42.4	48.0	5.6	96.0	36.0	45	52	41	40			
	113	18	前	39	7.28	7.25	20.8	10.5	10.3	33.3	36.3	3.3	96.8	47.9	35	39	39	38	生		
			遮断後 15'	35	7.25	7.18	17.9	5.8	12.1	38.1	44.5	6.4	96.1	30.5	35	55	36	34			
			解除後 30'	35	7.25	7.25	15.8	6.1	9.7	36.5	40.5	4.0	97.9	36.9	38	45	36	37			
114	20	前	41	7.42	7.38	15.5	9.2	6.3	36.8	44.3	7.5			28	38	43	44	生			
		解除後 30'	36	7.36	7.30	14.3	6.8	7.5	42.8	48.3	5.5			39	48	44	42				
115	30	前	37	7.35	7.30	18.7	11.3	7.4	34.2	38.3	4.1	95.3	56.0	31	38	39	40	死			
		遮断後 20'	33	7.14	7.10	13.2	4.3	8.9	40.8	47.6	6.8	89.0	28.3	58	67	36	36				
		解除後 30'	33	7.09	7.06	9.1	2.7	6.4	42.5	48.3	5.8	81.4	19.6	67	75	34	34				
B ₃	121	15	前	37	7.38	7.34	17.4	12.4	5.0	42.1	49.8	7.7	97.7	68.1	36	46	43	45	生		
			遮断後 13'	34	7.31	7.27	16.3	8.0	8.3	34.2	42.7	8.5	91.3	43.9	34	46	39	40			
			解除後 30'	34	7.28	7.25	10.3	5.3	5.0	35.8	42.8	7.0	74.3	39.6	38	48	39	40			
	122	15	前	34	7.28	7.26	20.4	12.7	7.7	31.6	35.4	3.8			34	39	37	37	生		
			遮断後 10'	31	7.22	7.20	14.8	6.5	8.3	31.2	39.0	7.8			37	47	35	36			
			解除後 30'	31	7.24	7.22	13.1	6.7	6.4	33.5	38.3	4.8			39	46	36	37			
	124	20	前	38	7.45	7.36	16.3	8.7	7.6	36.3	41.8	5.3			32	38	43	43	死		
			遮断後 15'	34	7.25	7.19	14.2	3.7	10.5	36.7	43.1	6.4			42	56	39	39			
			解除後 30'	34	7.18	7.03	12.7	6.1	6.6	41.5	45.2	3.7			55	83	38	35			
	125	20	前	36	7.49	7.45	14.6	12.1	2.5	39.3	41.9	2.6	94.7	76.5	28	30	45	43	死		
			遮断後 20'	31	7.31	7.21	12.9	6.4	6.5	40.4	47.3	6.9	92.6	42.6	41	60	40	41			
			解除後 30'	31	7.21	7.10	10.8	4.9	5.9	44.8	47.9	3.1	88.1	32.9	53	71	39	37			

表 VIII 交叉循環時の血液諸性状 (C. 群)

実験 番号	遮断 時間 min	採血時間	Ht %	pH		血中O ₂ 含 量 Vol%		(A-V)O ₂	血中CO ₂ 含 量 Vol%		(V-A)CO ₂ Vol%	O ₂ 飽和 度%		Pco ₂ mmHg		B _B ⁺ mEq/L		転 帰
				動脈	静脈	動脈	静脈		動脈	静脈		動脈	静脈	動脈	静脈	動脈	静脈	
201	13	前	35	7.38	7.30	19.5	12.3	7.2	33.4	38.9	5.5	95.4	61.0	29	40	37	37	死
		遮断後 10'	31	7.22	7.16	17.3	8.6	8.7	32.3	39.8	7.5	93.3	47.3	35	51	35	34	
		解除後 20'	31	7.12	7.04	15.5	7.4	8.1	36.4	41.5	5.1	91.0	46.5	49	71	35	33	
204	20	前	39	7.38	7.37	17.8	11.5	6.3	37.5	42.2	4.7	92.1	49.3	32	38	42	41	生
		遮断後 15'	35	7.32	7.22	18.9	7.2	11.7	21.3	43.9	12.6	96.5	50.2	32	48	37	38	
		解除後 30'	34	7.26	7.20	13.5	4.1	9.4	34.9	40.8	5.9	95.4	31.3	39	49	38	37	
205	21	前	38	7.45	7.42	10.7	10.5	10.2	36.3	44.0	7.7	97.8	53.4	27	34	43	43	生
		遮断後 15'	33	7.30	7.18	22.9	6.0	16.9	32.6	42.2	9.6	98.4	48.3	30	51	36	37	
		解除後 10'	32	7.24	7.18	15.4	7.5	7.9	33.6	42.5	8.6	91.3	46.3	37	53	35	35	
206	23	前	31	7.34	7.32	15.3	10.3	5.0	42.5	45.3	2.8	92.3	65.6	38	43	41	41	生
		遮断後 20'	29	7.22	7.14	15.9	6.1	9.8	37.8	47.3	9.5	93.8	51.7	45	63	37	38	
		解除後 30'	29	7.22	7.21	12.3	7.1	5.2	35.1	41.8	6.7	89.1	52.3	43	48	38	38	
207	25	前	37	7.52	7.48	19.4	13.1	6.3	39.1	45.3	6.2			25	31	44	43	生
		遮断後 15'	36	7.42	7.40	20.5	9.8	10.7	35.4	42.4	7.0			32	34	41	42	
		解除後 30'	36	7.30	7.28	13.5	10.4	3.1	39.5	43.9	4.4			40	44	39	38	
209	23	前	41	7.42	7.39	16.7	12.9	3.8	38.8	40.5	1.7	92.1	48.1	32	34	43	41	生
		遮断後 15'	35	7.31	7.30	17.9	9.6	8.3	32.5	42.3	9.8	93.4	36.5	31	41	38	40	
		解除後 25'	34	7.33	7.28	13.5	2.1	6.4	37.3	39.9	2.6	86.5	34.2	34	43	40	40	
211	11	前	35	7.46	7.38	18.3	13.2	5.1	40.2	45.8	4.4			29	38	43	42	生
		遮断後 10'	32	7.31	7.26	17.9	9.4	8.5	35.8	43.2	7.4			35	44	39	38	
		解除後 30'	30	7.32	7.28	15.5	9.5	6.0	40.6	42.1	1.5			38	41	40	39	
212	18	前	38	7.30	7.28	19.7	13.6	6.1	33.1	38.5	5.4	97.1	51.2	33	38	38	37	生
		遮断後 15'	35	7.18	7.12	16.3	7.8	8.5	32.5	42.5	10.0	94.8	43.9	41	58	34	34	
		解除後 30'	35	7.14	7.08	12.5	5.2	7.3	35.1	39.1	4.1	87.8	39.3	49	61	34	35	
213	18	前	39	7.34	7.28	21.3	15.3	6.0	34.2	38.9	4.7	98.2	79.3	32	39	40	38	死
		遮断後 15'	33	7.22	7.12	22.5	8.4	14.1	34.6	43.5	8.9	98.5	39.5	42	63	36	35	
		解除後 30'	33	7.08	7.06	12.3	6.3	6.0	32.5	38.9	6.4	83.4	29.4	53	65	32	31	
214	29	前	37	7.42	7.36	18.7	12.5	6.2	38.6	43.5	4.9	94.9	68.3	30	39	43	42	死
		遮断後 20'	35	7.28	7.24	14.9	6.4	7.5	35.5	46.3	10.8	87.3	39.5	37	46	39	40	
		解除後 20'	32	7.22	7.18	12.3	5.3	7.0	31.0	39.0	8.0	82.1	34.2	35	56	35	34	
215	25	前	32	7.38	7.36	18.8	12.1	6.7	40.5	44.3	3.8			34	39	42	42	死
		遮断後 20'	31	7.29	7.20	13.2	5.4	7.1	35.5	45.3	9.8			37	53	37	38	
		解除後 30'	27	7.12	7.08	11.2	3.9	7.3	33.4	40.5	7.1			48	63	34	34	
217	20	前	38	7.42	7.41	23.1	16.7	6.4	31.8	40.1	8.3	98.3	71.2	25	32	40	41	生
		遮断後 15'	36	7.28	7.22	19.4	11.3	8.1	33.5	44.5	11.0	96.2	63.4	35	49	37	39	
		解除後 30'	33	7.16	7.10	13.2	7.6	5.6	36.2	40.5	4.3	87.1	38.5	49	62	35	34	
218	18	前	39	7.35	7.34	21.1	15.3	5.8	37.6	38.9	1.3			35	37	41	40	生
		遮断後 15'	36	7.24	7.20	18.5	8.3	10.2	33.2	41.0	7.8			38	49	38	37	
		解除後 30'	35	7.23	7.20	14.3	7.1	7.2	36.1	39.0	2.9			41	46	37	37	

表 IX 交叉循環時の血液諸性状 (平均値)

実験群	採血時期	生存例										死亡例													
		O ₂ 含量 Vol%		O ₂ 較差	CO ₂ 含量 Vol%		CO ₂ 較差	O ₂ 飽和度 %		Pco ₂ mmHg		O ₂ 含量 Vol%		O ₂ 較差	CO ₂ 含量 Vol%		CO ₂ 較差	O ₂ 飽和度 %		Pco ₂ mmHg					
		動脈	静脈		動脈	静脈		動脈	静脈			動脈	静脈		動脈	静脈		動脈	静脈			動脈	静脈	動脈	静脈
A ₁	前	16.3	11.2	5.1	39.6	42.7	3.1	96.8	58.6	33.8	39.5	16.0	10.3	5.7	40.4	46.5	6.1	97.5	64.1	31.0	38.0				
	遮断中	17.6	7.1	10.5	36.2	43.0	6.8	97.3	40.9	34.2	45.0	16.8	6.7	10.1	37.6	45.1	7.6	93.2	40.5	48.3	60.0				
	解除後	14.7	8.5	6.2	34.7	40.9	6.2	92.8	48.9	35.2	45.5	9.6	4.3	5.3	33.5	41.1	7.6	80.6	29.3	44.6	61.0				
A ₂	前	17.9	12.4	5.5	36.8	45.6	8.8	95.4	61.6	31.8	42.5	19.6	12.9	6.7	39.2	41.3	2.1	94.0	61.8	38.0	43.0				
	遮断中	19.1	8.1	11.0	32.8	41.6	8.8	96.2	37.7	36.2	48.0	17.1	7.1	10.0	38.5	47.0	8.5	94.4	48.3	43.0	69.0				
	解除後	15.4	8.1	7.3	36.4	41.6	5.2	95.3	50.3	38.8	49.3	10.7	3.9	6.8	36.5	45.5	9.0	95.0	26.3	59.0	72.0				
A ₃	前	14.7	9.3	5.4	38.7	40.1	1.9	94.1	53.1	38.6	45.6	14.2	9.8	4.4	44.5	48.9	4.4	95.6	64.4	35.0	44.0				
	遮断中	15.8	6.7	9.1	33.0	40.2	7.2	91.2	50.9	36.2	49.3	15.9	8.5	7.4	39.2	43.2	4.0	93.4	57.4	61.0	72.0				
	解除後	14.7	6.2	8.5	37.9	42.5	4.6	89.2	50.7	41.8	50.2	10.3	3.6	6.7	33.6	40.8	7.2	90.2	23.8	52.0	70.0				
B ₁	前	17.0	12.3	4.7	30.4	36.3	5.9	94.1	67.5	24.0	29.5	15.6	9.7	5.9	34.2	40.4	5.8	96.0	55.1	39.0	41.5				
	遮断中	18.8	9.5	9.3	33.6	41.3	7.7	96.4	50.4	38.5	47.0	15.2	8.3	6.9	28.9	38.7	9.8	89.6	65.1	44.0	57.5				
	解除後	15.0	8.5	6.5	32.9	37.5	4.6	94.2	49.4	35.0	44.0	9.2	5.1	4.1	30.3	35.7	5.4	83.7	33.4	55.5	67.0				
B ₂	前	15.6	8.8	6.8	36.5	42.4	5.9	94.8	53.0	31.3	38.3	18.7	11.3	7.4	34.2	38.3	4.1	95.3	56.0	31.0	38.0				
	遮断中	16.9	5.9	11.0	38.8	46.9	8.1	96.2	33.9	34.5	55.0	13.2	4.3	8.9	40.8	47.6	6.8	89.0	28.3	58.0	67.0				
	解除後	14.3	6.2	8.1	40.6	45.7	5.1	96.9	36.4	40.6	48.3	9.1	2.7	6.4	42.5	48.3	5.8	81.4	19.6	67.0	75.0				
B ₃	前	18.9	12.5	6.4	36.8	42.6	5.8	97.7	68.1	35.0	32.5	15.4	10.4	5.0	37.8	41.8	4.0	94.7	76.5	30.0	34.0				
	遮断中	15.5	7.2	8.3	32.7	40.6	7.9	91.3	43.9	35.5	46.5	13.5	5.1	8.4	38.5	42.7	4.2	92.6	42.6	41.5	58.0				
	解除後	11.7	6.0	6.7	34.6	40.6	6.0	74.3	39.6	38.5	47.0	11.7	5.5	6.2	43.1	46.5	3.4	88.1	32.9	54.0	77.0				
C	前	19.1	13.1	6.0	38.5	42.3	3.8	94.9	56.1	30.7	36.1	19.6	13.1	6.5	36.8	44.5	7.7	96.1	69.5	31.2	39.2				
	遮断中	18.7	8.3	10.4	35.0	43.3	8.3	95.5	49.0	35.4	48.4	16.9	7.2	9.7	34.5	43.7	9.2	93.0	42.1	37.7	53.2				
	解除後	13.8	7.3	6.5	36.5	41.1	4.6	87.9	40.3	41.1	49.7	15.3	5.7	9.6	33.3	39.9	6.6	85.5	36.7	46.2	63.7				

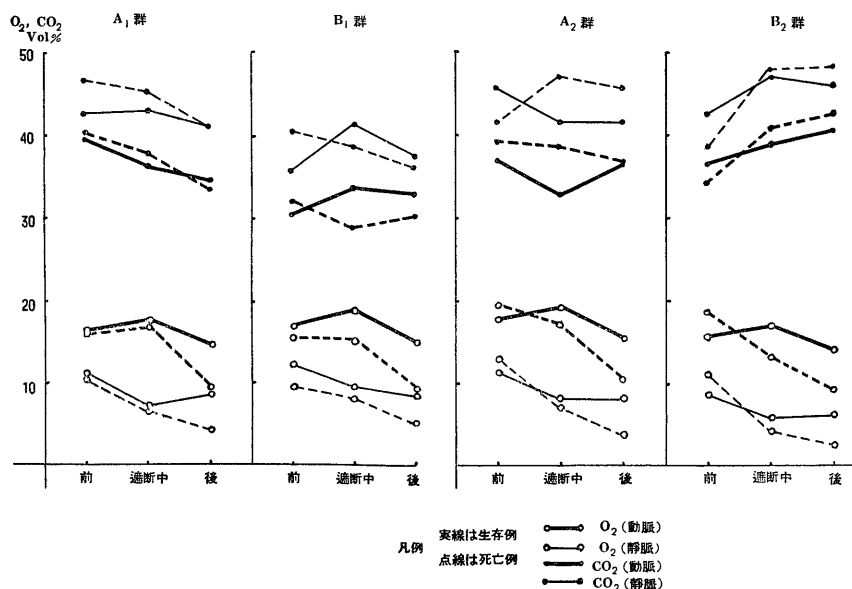
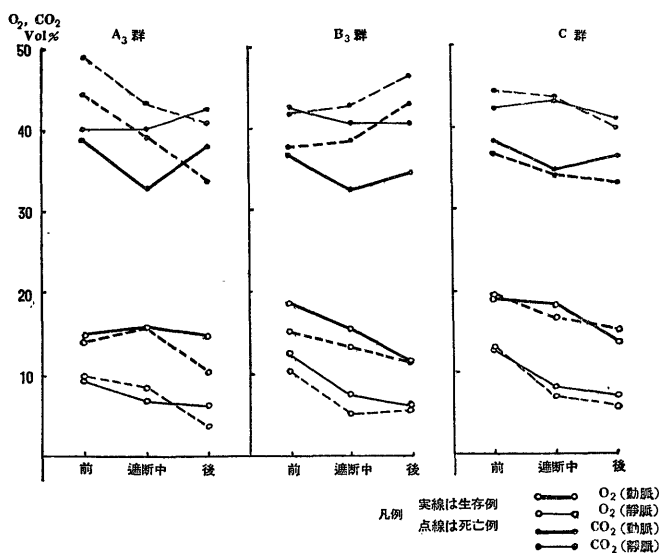
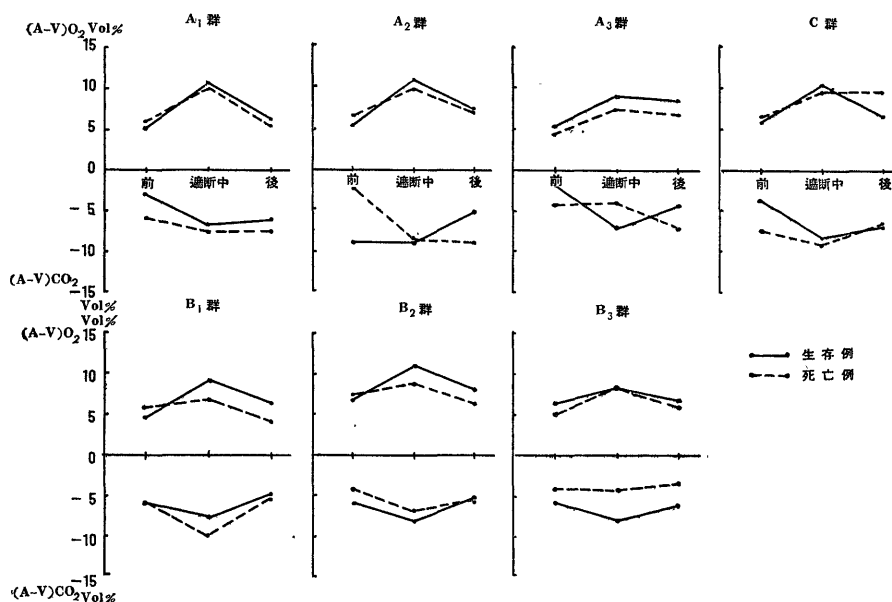
図 XII 血中 O₂ CO₂ 含量 (平均値)

図 XIII 血中 O_2 , CO_2 含量 (平均値)図 XIV 動静脈 O_2 及び CO_2 較差 (平均値)

C群はA群と大差を認めなかった。

7. 血中緩衝塩基 Buffer Base (B_B^+) (表 IV~VII 及び XI)

術前、すべての例に血中緩衝塩基は $40-45\text{mEq/L}$ の正常範囲内にあり、動静脈血に有意の差を認めなかった。血流遮断を行うとこれらの値はすべてに減少がみられ、遮断時間の推移と共に次第に減少が進み代謝性 Acidosis を示す。しかし遮断解除後A群生存例に

おいては B_B^+ が著しくは下降せず代謝性 Acidosis が高度には進行しなかったが、B群生存例では稍々進行し、死亡例においてはすべて顕著な代謝性 Acidosis を認めた。C群はA群と殆んど変りがなかった。

4. 交叉循環時の糖代謝

1. 焦性葡萄糖 (表 XII) (図 XVI)

血中焦性葡萄糖の変化を18例について測定した。交叉循環後生存例の14例、死亡例4例についてである。

図 XV 酸素飽和度 (平均値)

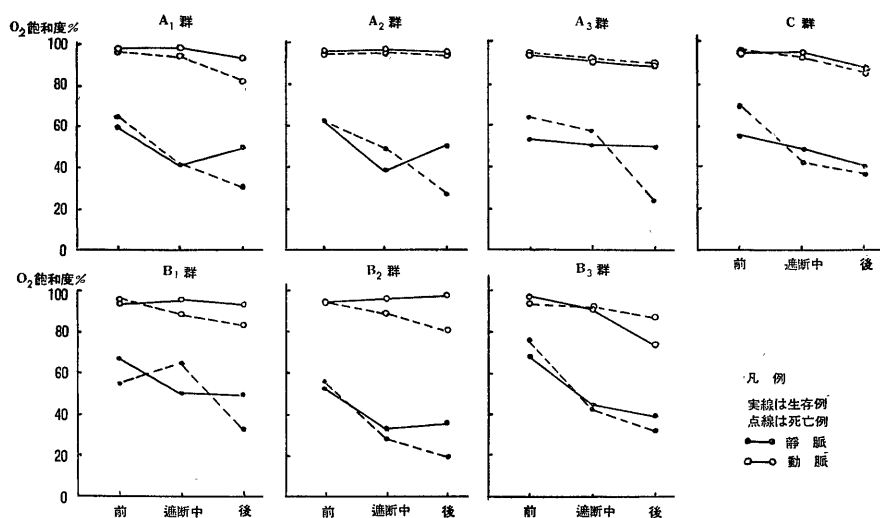


表 X pH (平均値)

実験群	採 時 血 間	生 存 例		死 亡 例	
		動脈	静脈	動脈	静脈
A ₁	前	7.38	7.34	7.41	7.40
	遮断中	7.31	7.28	7.19	7.17
	後	7.31	7.25	7.16	7.09
A ₂	前	7.41	7.37	7.32	7.30
	遮断中	7.27	7.23	7.26	7.10
	後	7.28	7.23	7.06	7.05
A ₃	前	7.30	7.27	7.40	7.38
	遮断中	7.27	7.21	7.17	7.05
	後	7.23	7.22	7.09	7.05
B ₁	前	7.41	7.40	7.30	7.29
	遮断中	7.25	7.24	7.10	7.07
	後	7.27	7.12	7.03	7.00
B ₂	前	7.37	7.34	7.35	7.30
	遮断中	7.26	7.21	7.14	7.10
	後	7.30	7.27	7.09	7.06
B ₃	前	7.33	7.30	7.47	7.41
	遮断中	7.27	7.24	7.28	7.20
	後	7.26	7.24	7.20	7.07
C	前	7.40	7.38	7.41	7.33
	遮断中	7.29	7.23	7.25	7.18
	後	7.26	7.22	7.14	7.09

表 XI 緩衝塩基 (B_B) (平均値)

実験群	採 時 血 期	生 存 例		死 亡 例	
		動脈	静脈	動脈	静脈
A ₁	前	41.7	41.5	43.3	43.3
	遮断後	37.7	36.0	38.0	38.3
	解除後	38.2	38.7	34.0	34.3
A ₂	前	41.8	41.7	41.0	42.0
	遮断後	37.2	38.8	39.0	37.0
	解除後	38.5	38.8	33.0	34.0
A ₃	前	40.2	40.4	44.9	45.0
	遮断後	37.2	37.8	33.0	35.0
	解除後	38.7	39.3	30.0	33.0
B ₁	前	40.0	40.0	39.0	40.5
	遮断後	37.5	39.5	31.5	32.5
	解除後	36.0	37.5	28.5	30.0
B ₂	前	41.7	41.6	39.0	40.0
	遮断後	38.0	37.5	36.0	36.0
	解除後	40.3	39.5	34.0	34.0
B ₃	前	40.0	41.0	44.0	43.0
	遮断後	37.0	38.0	39.5	39.5
	解除後	37.5	38.5	38.5	36.5
C	前	41.7	41.0	40.5	39.8
	遮断後	37.4	38.1	36.5	36.5
	解除後	37.3	36.8	33.7	33.1

表 XII 糖 代 謝

実験 群	実験 番号	採血時期	血糖 mg%		乳酸 mg%		糖 mg/dl	
			動脈	静脈	動脈	静脈	動脈	静脈
A ₁	2	前	2.1	2.4	34.1	35.3	101	103
		遮断後 10'	2.3	2.5	51.4	52.8	121	134
		解除後 30'	2.2	2.3	54.3	55.4	98	106
	4	前	3.0	3.4	10.4	10.9	85	89
		遮断後 15'	3.4	3.8	38.7	39.9	83	101
		解除後 30'	3.1	3.4	39.5	40.3	81	83
	+10	前	1.8	1.9	22.6	23.7	91	92
		遮断後 20'	1.9	2.1	63.2	64.9	115	126
		解除後 30'	2.1	2.1	68.5	69.8	121	118
	A ₂	21	前	1.3	1.5	7.8	10.5	87
遮断後 10'			1.4	1.6	30.8	32.8	91	97
解除後 20'			1.2	1.5	34.8	35.4	87	80
25		前	3.0	3.3	30.4	30.9	90	83
		遮断後 10'	3.1	3.4	54.3	55.7	110	108
		解除後 10'	3.1	3.2	57.9	59.1	106	96
30		前	3.2	3.4	15.8	17.3	63	69
		遮断後 25'	3.4	3.1	45.3	46.7	71	73
		解除後 10'	3.1	3.4	43.8	45.9	75	90
A ₃		42	前	1.8	1.6	19.7	21.3	105
	遮断後 15'		1.9	2.0	39.8	40.5	113	120
	46	前	3.2	3.4	34.8	35.5	117	98
		遮断後 20'	3.2	3.6	61.3	62.7	136	108
		解除後 30'	3.4	3.5	63.4	63.5	110	98
	47	前	1.1	1.5	21.5	23.4	88	95
遮断後 30'		1.4	1.8	40.7	43.2	89	103	
B ₁	101	前	3.2	3.6	19.3	20.4	90	81
		遮断後 10'	3.4	3.9	29.3	31.5	121	109
		解除後 20'	3.2	3.5	34.5	36.1	101	89
	+106	前	3.1	3.1	27.5	28.1	124	113
		遮断後 15'	3.3	3.8	71.2	72.5	131	106
		解除後 30'	3.2	4.1	73.5	74.3	98	92
B ₂	112	前	2.1	2.0	21.3	21.5	81	87
		解除後 30'	2.5	2.3	47.3	49.2	99	97
B ₃	+124	前	0.8	1.3	8.9	8.9	78	71
		遮断後 15'	1.1	1.3	57.3	58.5	101	93
		解除後 30'	0.9	1.2	59.5	60.3	100	91
	207	前	1.1	1.8	22.7	22.9	81	113
		遮断後 15'	1.4	1.5	41.3	42.4		
		解除後 30'	1.3	1.4	43.8	45.1	98	92
C	210	前	0.7				63	69
		遮断後 15'	0.9				71	73
		解除後 30'	0.8				75	90
	212	前	3.1	3.5	25.8	26.1	105	98
		遮断後 15'	3.1	3.2	51.3	54.8	113	97
		解除後 20'	3.2	3.2	53.4	54.9	100	91
	+214	前	2.3	2.7	17.5	19.3	98	98
		遮断後 20'	2.4	2.8	63.7	65.2	89	108
		解除後 20'	2.5	2.6	64.7	65.4	81	98
	217	前	1.3	1.4	18.7	19.1	101	103
遮断後 15'		1.4	1.3	49.3	52.3	121	128	
	解除後 30'	1.4	1.6	52.5	52.8	98	106	

+印は死亡例

動脈血と静脈血との間には有意の差がなかった。血液遮断によって血中焦性葡萄糖量は増量し 0.7~3.5mg% に亘る動揺を示す。血流遮断解除後も減少せず或いは少量の増加を認めたものもある。一般に灌流量の多少、血流遮断時間の長さ、生存死亡には余り関係がないようである。

2. 乳酸 (表 XII) (図 VI)

交叉循環時血中乳酸量の変化を17例について測定した。即ち生存が13例、死亡が4例についてである。遮断前麻酔によつて影響され、麻酔の時期によつても相違があり、7~35mg%の間に分布している。血流遮断によつて増加し 30~75mg% となり遮断解除後30分を経た後でも術前値へ戻らない。動脈血と静脈血との差は 5mg% で著しいものではなかった。死亡例においては一般に生存例に比べて高値を示し (55~75mg%)、代謝性 Acidosis の大きな原因となつている。即ち死亡例において灌流量の少ないもの、遮断時間の長いものにおいて増加の程度が大きかつた。

3. 糖 (表 XII) (図 XVI)

交叉循環による血糖値の変化を検べた。遮断前 60~130mg/dl の分布を示していたが、血流遮断と共に 10~30mg/dl 増加し遮断解除 30 分後には稍々減少の傾向を示す。静脈血の糖は動脈血よりも稍々高値を示す。死亡例では生存例に比べて稍々高値を示す。

5. 交叉循環時の酸素消費量 (表 VII, 図 XVII)

交叉循環時の生体酸素消費量を検索したが、遮断前の測定値は21例において体重 1kg 当り 5.39~10.44cc の分布を示し、麻酔の深度に影響されまた個体差がある。血流遮断を行うと酸素消費量は著明に減少し、遮断前の 13.7%~40.2% (体重 1kg 当り 0.89cc~4.19cc) になる。但し、遮断時冠循環を経て肺循環で吸収消費される O₂ 量を考慮に入れてないのでこれを入れるとより高い O₂ 消費量になるわけである。灌流量の少ない A, B, 群は他の群に比べると体重 1kg 当りの消費量が少なく、A₂, B₂ 群と A₃, B₃ 群の間では余り著明な差が認められず、また A 群と B 群の間にも有意の差は認められなかった。

6. 交叉循環時の溶血度 (表 XIV) (図 XVIII)

交叉循環時 Pump に挿入されたゴム管の圧縮や手術操作によつて血球が破壊されて溶血を起すが、溶血度測定の目的で血流遮断前及び遮断解除後の血漿 Hemoglobin 量を測定した。22例に測定され、遮断前 14~44mg% の生理的範囲内にあつて特に病的なものではなかった。灌流後血漿内 Hemoglobin 量は増加し 39~103mg% を示した。Pump 内のゴム管を通過した血液量が多ければ多い程溶血が強く、大体平行関係にあつた。即ち遮断中の灌流量が多い程また、遮断時間が長い程、血漿 Hemoglobin 値が高かつた。灌流量と遮断時間の積である総灌流量が多い程溶血が強いわけである。例えば No. 2 (1000cc) では 18mg% の増加であり、No. 28 (5290cc) では 39mg% の増加、No. 124 (9600cc) では 46mg% の増加をみた。死亡例は遮断時間の長いものが多いが、灌流量が少ないの

図 XVI 糖 代 謝

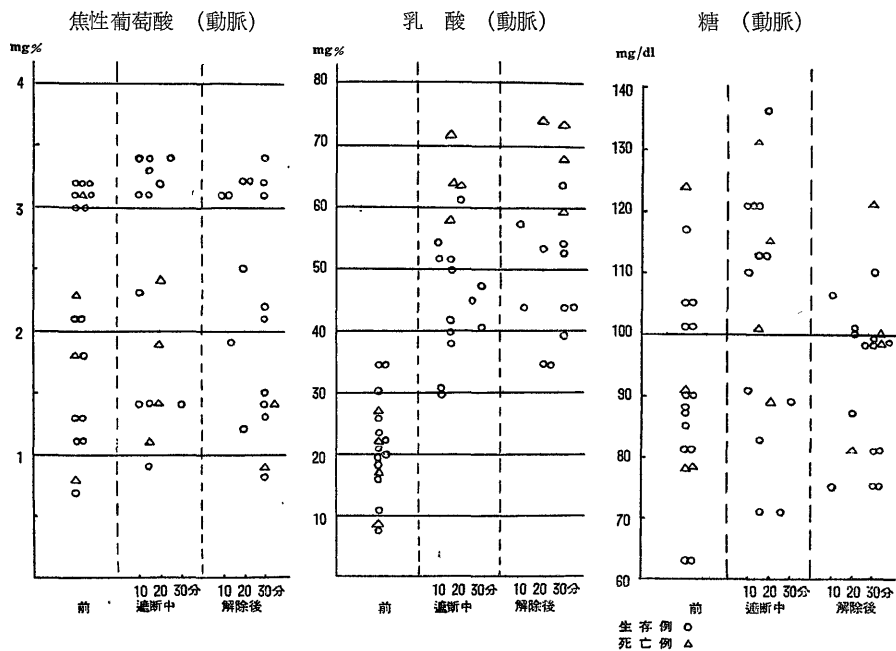


表 XIII 酸素消費量

実験群	実験番号	体重 kg	流量 cc/min	採血 時期	(A-V)O ₂ Vol%	O ₂ 消費量		消費率 %
						cc	cc/kg	
A ₁	1	13	170	前 10'	9.1	70.1 15.5	5.39 1.19	22.1
	4	10	150	前 15'	11.5	80.4 17.3	8.04 1.73	21.5
	6+	13.5	200	前 10'	10.1	91.3 20.2	6.75 1.49	22.1
	8+	14	240	前 10'	9.9	123.2 23.8	8.80 1.70	19.2
A ₂	22	10	210	前 10'	11.0	73.4 23.1	7.34 2.31	31.1
	29	7	170	前 20'	7.5	54.8 12.8	7.83 1.83	23.3
A ₃	42	7	280	前 15'	5.2	62.4 14.5	8.81 2.07	23.2
	46	7.5	280	前 20'	9.4	78.3 26.3	10.42 3.51	33.6
	47	10	400	前 30'	7.5	93.4 30.0	9.34 3.00	32.1

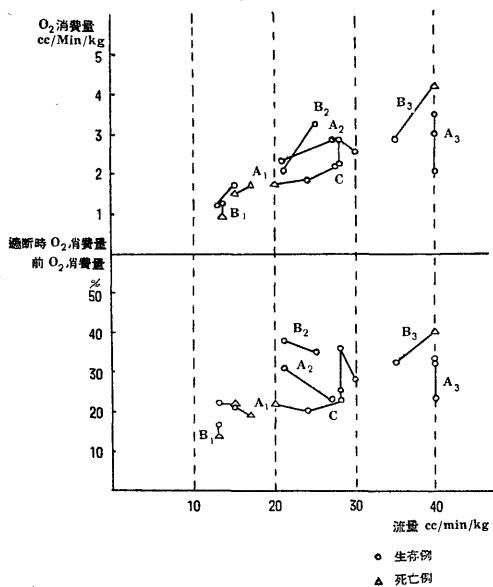
平均 O₂ 消費量 平均減少率 27.7%
術 前 8.34cc/kg 遮断中 2.31cc/kg

表 XIII の 続 き

実験群	実験号	体重 kg	流量 cc/min	採血 時期	(A-V)O ₂ Vol%	O ₂ 消費量 cc		消費率 %
						cc	cc/kg	
B ₁	102	20	260	前 10'	9.5	150.0 24.7	7.50 1.24	16.4
	106†	18.5	230	前 15'	7.2	120.5 16.6	6.75 0.89	13.7
B ₂	111	10	210	前 10'	9.8	80.4 20.6	8.04 2.06	38.4
	113	12	300	前 15'	12.1	104.3 36.3	8.70 3.23	34.8
B ₃	122	15.5	530	前 10'	8.3	139.4 44.8	9.00 2.89	32.1
	124†	12	480	前 15'	10.5	125.3 50.4	10.44 4.19	40.2
C	201†	9	180	前 10'	8.7	71.3 15.7	7.93 1.74	22.0
	205	8	220	前 15'	16.9	68.3 17.2	8.54 2.15	25.2
	209	8.5	230	前 15'	8.3	82.4 19.1	9.69 2.25	23.2
	212	8	240	前 15'	8.5	72.5 20.4	9.06 2.55	28.1
	214	9	220	前 20'	7.5	81.3 16.5	9.03 1.83	20.3
	218	10	280	前 15'	10.2	78.5 28.3	7.85 2.83	36.1

註：採血時期の下段は遮断後の時間を示す。†印は死亡例

図 XVII 心血流遮断時酸素消費量とその率



で総灌流量は必ずしも多くない。死亡例において特に Hemoglobin 量が多いことはなかった。

7. 交叉循環と肝機能 (表 XV)

交叉循環時の低流量環流時肝機能状態を窺うに、肝 Anoxia による障害が予想されるが、実際に血清高田反応は血流遮断前及び遮断解除後30分、12時間後或いは24時間後、絮状沈澱を生ずるものが0～2本で

殆んど肝機能の障害を認めなかった。コバルト反応によつても同様に肝機能の障害を認めなかった。血清 Cholinesterase 値においても術前、術後いずれも正常範囲内に止まっている。

8. 交叉循環の死亡原因 (表 XVI)

交叉循環56例中、Recipient の死亡は18例 32.1%であり Donor は僅かに1例 1.8%であつた。死亡例の経過並びに血液性状は前に表に示し述べた如くである。死亡原因として最も多いのは循環の Unbalance と心衰弱 (Anoxia?) とによるもので、胸腔内出血がこれに次ぐ。循環の Unbalance の原因の最も大きなものは静脈系吸引不良で、これには Canulation の技術も関係するが、恐らく末梢血管の麻痺のために心への血液還流を不十分に末梢臓器に停滞する結果と思われる。

IV. 考按並びに総括

上及び下大静脈、奇静脈を遮断すると心臓への Inflow はなくなりこの状態では Andreassen & Watson¹⁵⁾ が述べているように4～4½分間で心停止を来す。Azygos だけを開いておくと35分間程動物は生存し、これを Azygos factor と称している。著者は交叉循環時における灌流量の基準を Azygos factor にとり、各々の流量における血流遮断の許容時間について考察した。灌流量が Azygos factor と略々等しい

図 XVIII 血漿 Hemoglobin 量

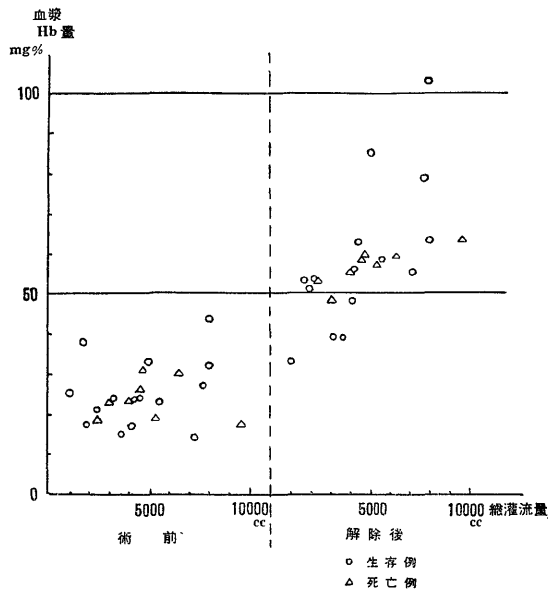


表 XIV 血漿 Hemoglobin 量

実験群	実験番号	流量 cc/min	遮断時 間 min	血漿 Hb 量 mg%		総灌流量 cc
				術前	術後	
A ₁	2	100	10	25	43	1000
	3	140	14	17	51	1960
	6†	200	15	23	48	3000
A ₂	21	180	13	21	54	2340
	25	240	15	15	39	3600
	28†	230	23	19	57	5290
	30	260	30	27	79	7800
A ₃	41	370	15	23	58	5550
	43	360	20	14	55	7200
B ₁	101	150	11	38	53	1650
	104†	300	15	26	58	4500
	106†	230	20	31	59	4600
B ₂	114	400	20	32	63	8000
B ₃	122	530	15	44	103	7950
	124†	480	20	17	63	9600
C	201†	180	13	19	53	2340
	206	190	21	23	55	3990
	209	230	19	24	63	4370
	211	280	11	24	39	3080
	214†	220	29	30	59	6380
	217	230	18	17	48	4140
	218	280	18	33	85	5040
平均				24.6	58.4	

註： †印は死亡例

表 XV 肝機能検査

実験群	実験番号	採血時期	肝機能検査		
			高田反応	Cobalt 反応	Choline- sterase ApH
A ₁	2	前	0 (—)	R ₄ (5)	0.9
		後30分	1 (—)	R ₄ (5)	
		後24時	1 (—)	R ₄ (5)	0.7
	3	前	1 (—)	R ₄ (5)	1.1
		後30分	1 (—)	R ₃ (4)	
		後12時	1 (—)	R ₄ (5)	
		後24時	1 (—)	R ₄ (5)	0.9
A ₂	6†	前	0 (—)	R ₅ (6)	0.9
		後30分	1 (—)	R ₅ (6)	0.7
	21	前	1 (—)	R ₃ (4)	1.3
		後20分	2 (±)	R ₄ (5)	1.2
		後12時	2 (±)	R ₄ (5)	
		後24時	2 (±)	R ₄ (5)	
	25	前	1 (—)	R ₅ (6)	1.1
		後10分	1 (—)	R ₄ (5)	
		後24時	1 (—)	R ₅ (6)	1.0
	28†	前	1 (—)	R ₄ (5)	1.0
		後30分	2 (±)	R ₃ (5)	0.9
		後12時	2 (±)	R ₃ (5)	
		後24時	2 (±)	R ₄ (5)	0.9
A ₃	30	前	0 (—)	R ₄ (5)	1.2
		後12時	1 (—)	R ₄ (6)	1.1
		後24時	1 (—)	R ₄ (6)	
	41	前	1 (—)	R ₄ (5)	
		後10分	2 (—)	R ₄ (6)	
		後24時	2 (—)	R ₄ (6)	
B ₁	106†	前	1 (—)	R ₃ (6)	0.8
		後30分	2 (±)	R ₃ (6)	0.6
B ₂	114	前	1 (—)	R ₄ (5)	1.1
		後30分	1 (—)	R ₄ (5)	
		後24時	1 (—)	R ₃ (5)	1.1
B ₃	122	前	1 (—)	R ₄ (5)	1.1
		後30分	1 (—)	R ₄ (6)	
		後24時	2 (±)	R ₅ (6)	0.9
	124†	前	2 (±)	R ₄ (6)	0.9
		後30分	2 (±)	R ₄ (5)	0.8
		後12時	2 (±)	R ₄ (5)	
C	209	前	1 (—)	R ₄ (5)	0.9
		後30分	1 (—)	R ₅ (6)	
		後24時	2 (±)	R ₃ (6)	0.8
	211	前	2 (±)	R ₅ (6)	1.2
		後30分	2 (±)	R ₄ (5)	1.1
		後24時	2 (±)	R ₄ (6)	1.0
	214†	前	1 (—)	R ₄ (6)	1.1
		後30分	1 (—)	R ₃ (6)	
		後24時	1 (—)	R ₅ (6)	0.9
217	217	前	1 (—)	R ₄ (5)	0.9
		後30分	2 (±)	R ₅ (6)	
		後24時	2 (±)	R ₆ (6)	0.7

註： †印は死亡例。採血時期中、後とあるのは遮断解除後の時間を示す。

表 XVI 死 亡 原 因

原 因	例数	百分率 %
Unbalance	6	33.4
胸腔内出血	3	16.7
Unbalance+胸腔内出血	1	5.5
心衰弱及び全身衰弱 (Anoxia)	5	27.8
事 故 死	1	5.5
室 息	2	11.1
計	18	100.0

もの (A₁ 群) は約15分から20分近くまでの遮断時間に耐え得られ, Azygos factor の2倍のもの (A₂ 群) は30分, 3倍のもの (A₃ 群) は40分が耐え得る遮断時間の限界であつた。以上は Donor が Recipient より大きいときの交叉循環法の成績であるが, Donor が Recipient より小さい場合は Azygos factor と同じ流量のもの (B₁ 群) は約15分, 2倍のもの (B₂ 群) は20分, 3倍のもの (B₃ 群) も20分近くが遮断許容時間の限界であつた。さらに心臓操作を加えたもの (C 群) は上述した群とは趣を異にする。心室だけの切開に止まるものは約20分間の遮断に耐え得るが, 心室中隔を操作せるものは20分までの遮断に耐え得なかつた。ここで交叉循環法を行わない即ち血液の交換を行わないで Azygos だけを開き心遮断を行つた Andreasen & Watson¹⁵⁾ は遮断中次第に Azygos' flow が増加することを Electromagnetic flowmeter で測定したが彼等は犬の体重を記載しなかつたので 1Kg 当りの流量は不明である。Cohen & Lillehei⁵⁵⁾ は Azygos の流量を直接にゴム囊に集めて測定した。即ち遮断後2分にして急激に増量してその後次第に減少して一定となり, 30分後には $\frac{1}{2}$ 位に減少すると述べている。この場合は Azygos の流量は時間によつて変るが交叉循環の低流量の場合には流量は常に一定しており, しかも流量は正常よりも非常に少ないので, 時間の推移と共に体内臓器の Anoxia を招来し老廃物が蓄積し中枢神経系, 心筋などの重要臓器に不可逆性の変化を来たし死に陥るものと思われる。従つて Azygos だけを開放した心血流遮断と交叉循環には血流遮断許容時間に相異が認められ, 流量を Azygos factor の2倍にしても Andreasen & Watson⁵⁵⁾ や Cohen & Lillehei⁵⁵⁾ のいう35分間の心血流遮断には耐え得なかつた。Recipient の心血流を遮断して Azygos factor に相当する量を Donor から灌流させてやると或る一定時間は生存する。その灌流量は正常安静時の心搏出量の約 $\frac{1}{10}$ 程度である。このような状態では Recipient の各

臓器への酸素供給量が少ないので次第に酸素欠乏の状態に追いやられる。CO₂ が蓄積し, また乳酸, 焦性葡萄糖などの糖代謝の中間産物が増量し, Acidosis に傾く。この Acidosis に傾いた血液を Donor は稀釈しさらに肺によつて CO₂ を排泄 O₂ を吸収し, 過剰な酸を自己の血液の緩衝塩基で調整し絶えずより生理的な動脈血を Recipient に与えているものと考えられる。しかし, 灌流の絶対量は正常搏出量の $\frac{1}{10}$ にし満たないので臓器, 組織の Anoxia による障害は次第に増加してゆくものと考えられる。Azygos factor と略々等しい灌流量で施行する交叉循環では血圧は 25~30mmHg となり2倍量でも 35~40mmHg, 3倍量でも 45~50mmHg で完全に Shocklevel 以下である。一般に Shock 時には生体の防禦反応の一つとして, 重要諸臓器の血流量を維持せんとする機構の存在することは従来知られている通りである。Lillehei⁵⁶⁾ 等は Azygos factor の如き少流量を以ての交叉循環で心臓が遮断に耐え得る理由として次の3点を重要視している。

1) 流量が少なくなると組織に CO₂ が蓄積し, O₂ 張力の変化により局所の血管拡張を来す結果, 比較的多くの血液が脳, 心臓などの主要臓器に流れる。このことは体外循環を用いて直視下心臓手術を行うとき冠静脈からの出血が相当多く, Maraist & Glenn⁵⁷⁾ は犬において最高 130cc/kg に達すると述べ, Anoxia になるとさらに増加することが認められている^{58, 59)}。三枝⁶⁰⁾ は灌流量と Coronary fraction について述べ灌流量の少ない程 Coronary fraction が大きくなるといつた。

2) 末梢の血液速度が遅くなり組織の O₂ 吸収率が大きくなる。

3) 心臓自体の仕事量が減ずるため O₂ 消費量も減少する。

少流量灌流の体外循環に低体温法を併用⁶¹⁾ すると心血流遮断時間を延長することができるのは既に知られていることである^{36, 37)}。しかし低体温にすると心室細動を起し易くなる^{13, 61, 62, 63, 64)}。

Warden⁷⁴⁾ 等は著者と同様に Azygos factor に基いて流量から A₁ (Azygos factor $\times 1$), A₂ (Azygos factor $\times 2$), A₃ (Azygos factor $\times 3$) の各3つの群に分けて基礎的な流量の研究を続けたが A₁ 群では血流遮断時の血圧 30~40mmHg, A₂ 群では 20~48mmHg, A₃ 群では 61~81mmHg を示し高い値をあげている。Warden⁷⁰⁾ 等は A₁, A₂, A₃ 群について各々30分間心血流遮断を行い17例中3例の死亡しか認めず, 著者の前述した成績と比較すると良好である。これら

の血圧は心血流遮断中著しい変化はないが次第に低下する傾向がある。呼吸は Donor Recipient 共に増加する。これは Donor が自己の呼吸に加うるに Recipient の CO_2 含量の高い血液に酸素を附加せんとして起る代償機能の現われであり、呼吸の増加は血中 CO_2 の増加による中枢への刺激によるものであろう。遮断解除後 Recipient の末梢に蓄積された CO_2 はじめ代謝性産物が静脈系に流れ出て、Recipient は自己の体でこれを処理しなければならないので代謝が非常に盛んになる。これは心血流遮断が長ければ長い程、また Donor から供給される血液の性状が悪ければ悪い程負担が大きくなるわけである。脈搏、呼吸の増加はこれらに対する反応と解釈される。遮断時間が長びくとき殊に灌流量が少ない場合障害が起るがこれは角膜反射の遅鈍や消失となつて現われる。また心室切開などの心操作を行つたものでは心室細動が発生し易くなる。人工心肺による体外循環においては動脈血を充分に酸素附加させて注入する結果、血中の CO_2 分圧が低下し、呼吸が小さく浅くなつたり無呼吸になるが交叉循環においては Donor の肺での Hemoglobin と O_2 の結合が常に統御されているので人工心肺のように無呼吸を招来することはない。Donor の肺は非常に優秀な Automatic controll であり、Diettert³⁵⁾ (3% CO_2), Clark⁶⁵⁾, Cross⁶⁶⁾ (1.5% CO_2) Kay⁶⁷⁾ (2.5% CO_2), Lewis⁶⁸⁾ などの人工心肺研究者らは酸素附加装置内に O_2 と CO_2 との混合ガスを送入することよりまたは O_2 の送入量を減ずることにより血中 CO_2 圧の調節に努めている⁶⁹⁾。交叉循環と人工心肺との体外循環における根本的な相違は血液酸素附加か生体肺で行われるか人工肺が行われるかにある。交叉循環の Donor の肺は酸素附加面積が広く、血液の性状によつて生理的な O_2 , CO_2 含量となるように、巧みな自働調節が行われ、Recipient に供給するものと考えられる。さらに Recipient で生じた代謝性に有害な物質は Donor の生理的な血液で稀釈され、なお Donor の肝腎で外毒統御されていると考えられる。Warden⁷⁰⁾ は、交叉循環の実験において動脈血の O_2 含量を測定し、血流遮断30分後には動脈血の O_2 較差が非常に大きくなり、Recipient の静脈血 O_2 の著明な減少にも拘わらず Donor の動脈血 O_2 含量が多いと述べている。著者の成績では A_1 , A_2 , A_3 群において血流遮断中の動脈血の O_2 含量が遮断前よりも 3~6Vol% 多くなるに反して静脈血の O_2 含量は遮断前よりも 5~11Vol% も低下し、その O_2 較差は遮断前 4~8Vol% であるのに対し、遮断中は 17Vol% 前後を示した。死亡例における血液酸素含量は遮断中動脈血にあつて

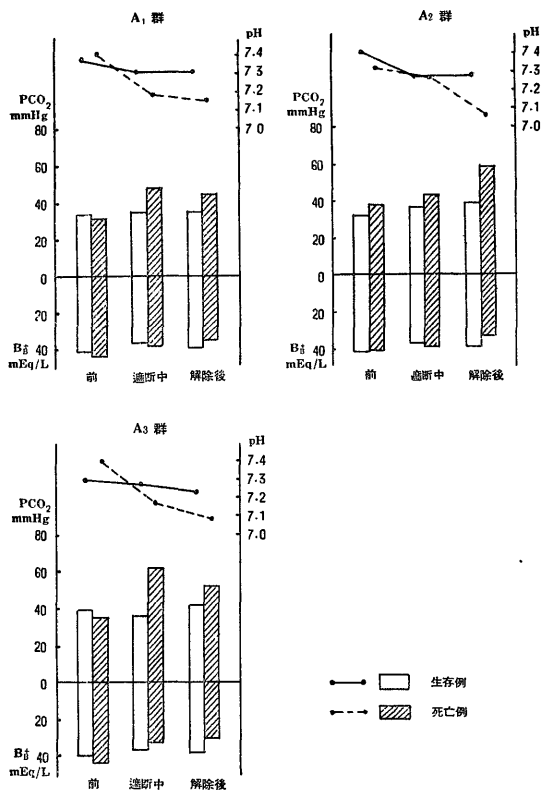
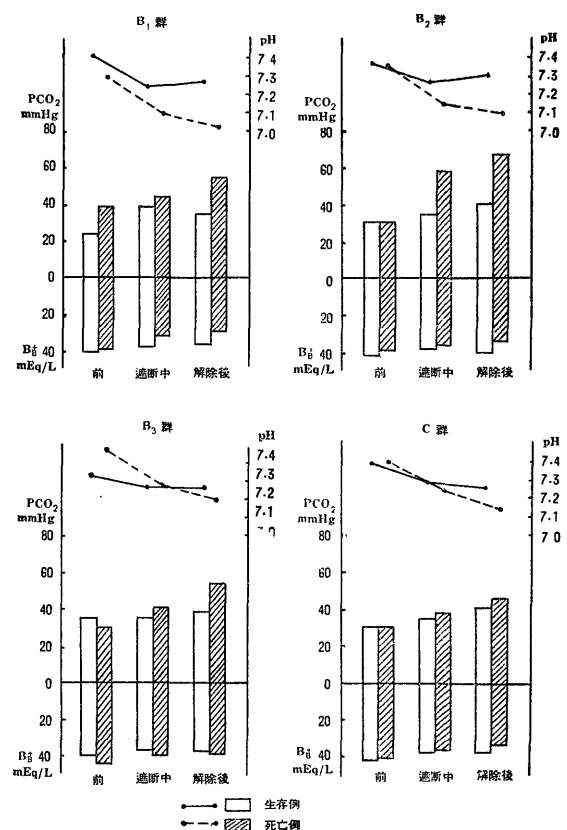
減少の傾向にあり、静脈血にあつては一層著明な減少を示し、従つて酸素較差は大きくなる。遮断解除後は次第にその減少が著明になり 2~3Vol% を示すものさえあつた。末梢における Hypoxia の進行を示すものであり、この傾向は流量が少ない程、また Donor が Recipient より小さい群にみられた。Wesolowski & Fischer⁷¹⁾, Mustard⁷²⁾, Cohen⁷³⁾, Read⁷⁴⁾, Dodrill⁷⁵⁾, Waldhausen⁷⁶⁾ などは人工心と剔出せる自家肺を使用して体外循環を行い、臨床例にも成功させているが、灌流によつて動脈血 O_2 含量は増加し、静脈血 O_2 含量は著明に減少し O_2 較差は遮断前の 6Vol% から 17Vol% へと著明なる増加を認めたといつている。さらに、Campbell⁷⁷⁾ は異種肺を酸素附加装置として用い臨床例 7 例を経験しているが、平均動脈血 O_2 較差は遮断前より増加して 12Vol% であつたと報告している。また自家肺は人工肺に比べてその酸素附加が非常に生理的でよいが、Canulation その他の技術上の困難があるため Lillehei²⁵⁾ は交叉循環をとつたのである。交叉循環時 Donor は肺で血中 O_2 の調節を行つているが、人工心肺における酸素附加は過酸素か低酸素のいずれかになり易い。著者の実験では Warden⁷⁰⁾ の述べた如く動脈血 O_2 較差は10%を少し上回る程度である。これは生存例死亡例との間に特に著変はない。Warden⁷⁴⁾ は血流遮断30分後の血液 Sample を採取しているが著者らの実験では A_1 , B_1 , C 群は30分の血流遮断には耐え得なかつたのでそれより前の血液所見を求めているので正確には比較できない。いずれにせよ血流遮断中に動脈血 O_2 較差が著明に大きくなることは Recipient の O_2 供給源たる Donor が充分によく酸素を附加した血液を送つてゐる証拠である。この動脈血 O_2 較差の大きくなるのは各群共通に認められ各群間に著明な差異はないが、流量の少なく遮断時間の長いものに著しくなる傾向がある。しかし B_1 群のように Donor が Recipient より小さいもの、また死亡例においては動脈血 O_2 較差が生存例よりも稍々劣つてゐる。これは Donor が Recipient の O_2 欠乏の血液を処理し切れない傾向になるためと考えられる。Lillehei²⁵⁾ は交叉循環時動脈血 O_2 飽和度は 91~96% であつたと報じ、Merendo³⁵⁾ (91~98%), Miller^{29, 78)} (96~97%), Stokes & Gibbon³²⁾ (66~100%), Cross & Kay⁶⁶⁾ (95~103%), Cooley²³⁾ (98% 以上), Helmsworth^{34, 79)} (90% 以上), Prescott⁸⁰⁾ (92~99%) らは人工心肺使用時の動脈血 O_2 飽和度の優秀さを認めている。これらは人工肺なので O_2 は許す限り幾らでも与えてやる事ができる。しかし O_2 を多く送入すると CO_2 の低下を来た

し呼吸性の Alkalosis に陥り、無呼吸の状態になる。静脈血の O_2 飽和度については、Miller^{29, 78)} (54~59%), Stokes & Gibbon³²⁾ (41~57%), Cross & Kay³⁷⁾ (33~58%), Clark⁴⁵⁾ (56~83%), Prescott⁸⁰⁾ (32~60%) らの報告がある。著者の例では動脈血 O_2 飽和度が遮断中は 90~100% にあり静脈血 O_2 飽和度は 40~60% の正常範囲内にあつた。しかも遮断解除を行うと動脈血、静脈血の O_2 飽和度は遮断中より寧ろ上昇するものさえある。しかし死亡例については遮断解除後静脈血の飽和度が遮断中よりも低下し、一層悪化の傾向を辿るようである。この傾向は死亡例においては Donor が Recipient より大きいものと小さいものとの間に余り差がないが生存例においては Donor の小さな程、静脈血の O_2 飽和度が遮断中から解除後に上昇しないで反対に低下を来す。動脈血中の CO_2 については Merendo³⁵⁾, Schimert³¹⁾, Shunway⁸¹⁾, DeWall²¹⁾, Cohen⁷³⁾, Read⁸²⁾ は人工心肺の灌流中に非常に低下することを認めているが、Clark⁶⁵⁾ は殆んど変化しなかつたことを述べている。Lillehei は動脈血の CO_2 含量について遮断後著明に増加すると報じている。人工心肺においては酸素附加が充分なため、動脈血の CO_2 は駆逐され易い傾向にある。交叉循環においては遮断中 Donor の補助呼吸を強力に行つたものとそうでないものとは動脈血の CO_2 含量が大いに異つた値を示すが、Donor は自発的に肺で血液中 CO_2 含量の調節を行つているものと考えられる。一般に Donor に強い負担のかかる程 CO_2 を肺から駆逐せんとして呼吸数が増加する。Donor が Recipient より小さいものではよりその傾向が強く、静脈血の CO_2 含量は増加する。遮断中 Donor から送られる動脈血の CO_2 含量はより生理的なものを保たんとし、Recipient の静脈血の CO_2 含量が増加するので動静脈 CO_2 較差の増加するのは勿論である。交叉循環において Donor の肺は Recipient の血液 Gas の Automatic controll として働くばかりでなく、手術操作等からくる細菌汚染⁸³⁾ に対して濾過清浄化の作用をなし細菌感染による障害が殆んどなくなることが考えられる。低流量で血圧が Shock level にあるとき Bacteria が Shock 発生に大きな役割を演ずるといふ Fine⁸⁴⁾ 一派の考えは Hardy⁸⁵⁾ などの反論もあるが一応考慮を要するところでこの際 Donor の肺が細菌の濾過器として働いていることは好都合である。

心電図の変化として交叉循環においては、心血流遮断と同時に R 棘高の低下を認め、ST, T 下降、T 平低下、T の増加、2 相性 T の出現等がみられ灌流量の減少による冠不全の発生を意味するものと考えられ、生

存例では遮断解除後 R 棘高の低下の回復が間もなく現われるが、死亡例では回復しない儘死に至る。心操作を施行したものは刺戟伝導系の障害を惹起し QRS に不完全脚 Block を認めている。死亡例では遮断解除後の心電図が容易に術前に回復しない。

次に Recipient に起つてくる Acidosis を Donor は如何にして処理しているであろうか。灌流量が少ないと組織は代謝性 Acidosis を起す。Bell⁸⁶⁾ は人工心肺で少流量灌流のときに代謝性の Acidosis 発生が大きいことを述べている。即ち Bell⁸⁶⁾ は 32.5cc/kg/min の流量での 30 分間灌流では血圧が低く重炭酸塩の損失があり、乳酸の蓄積、混合静脈血の O_2 含量低下、動静脈血 O_2 較差の増大、 O_2 消費量の減少がみられ、Hypoxia と Fixed acid の蓄積による Acidosis が起つてくることを認めたが、59.8cc/kg/min の流量で灌流するときは Hypoxia は起らず、重篤な Acidosis は起らない。また 100cc/kg/min の流量で灌流するときは Acidosis も Hypoxia も全然起らないと述べた。またこの Acidosis の治療のため、重曹水の点滴注入^{38, 62, 87)} を行つたものでは血中の Acidosis は起らなかつたが死亡率は減少せず、死亡の原因は寧ろ Hypotension と Hypoxia によるものであると結論している。Clowes⁸⁷⁾ は人工心肺の低流量灌流においては代謝性 Acidosis が起り、この Acibosis が脳に反映して充分な平衡状態を処理できない間に cardiovascular に与えられた障碍のために死亡すると述べている。Clowes⁸⁷⁾, 菅間⁸⁸⁾ 等は低流量灌流では pH の著明な減少と乳酸の蓄積を認め、また Hypercapnia による Pco_2 の増加を認めているが Mustard⁷²⁾, Miller²⁹⁾, Prescott⁸⁰⁾, Shunway⁸¹⁾, Stokes & Gibbon, Cross & Kay⁶⁶⁾, Clark⁶⁷⁾, DeWall²¹⁾ などは高流量においては pH の著明な減少を認めていない。人工心肺の低流量灌流においては Acidosis が生じててもその調整は自分自身の体内の予備力によるもので、人工心肺で O_2 の添加は充分にできて人工心肺は Acidosis の処理能力はない。また Read⁸²⁾ は交叉循環灌流中動脈血 Pco_2 の減少を認めており、Clowes⁸⁷⁾ も生存例においては Pco_2 の著明な増加はないことを認めている。人工心肺と異なり交叉循環においては低流量でも Acidosis の調整は Donor が極力やつてくれるわけで、図 XIX, XX に示したように、生存例においては pH の減少も軽度でありまた Buffer Base の減少も軽度で末梢における CO_2 蓄積の標示とみられる Pco_2 の増加もそう著明ではない。しかし Acidosis の程度は低流量程大きい傾向がみられる。これとは別に死亡例においては Clowes⁸⁷⁾ が述べて

図 XIX pH, P_{CO_2} , B_E の関係 (I) 平均値図 XX pH, P_{CO_2} , B_E の関係 (II) 平均値

いと同様に pH の減少が甚だしく Buffer Base の減少も生存例よりも著明で P_{CO_2} は動脈血及び静脈血殊に後者において高値を示し、代謝性 Acidosis と呼吸障害或いは呼吸麻痺に基く末梢 CO_2 蓄積による呼吸性の Acidosis が混在してその平衡状態を保ち得なくなつたものだろうと考えられる。この Acidosis の傾向は低流量灌流程甚だしく、また Donor が Recipient より小さいものに多くみられる。この Acidosis の原因は先に Bell⁸⁶⁾, Clowes⁸⁷⁾ が述べたよう乳酸の蓄積に関係があり、堂埜前⁸⁸⁾ は人工心肺操作中乳酸の増加が非常に著明に起つてくる (60—150mg/%) と述べたが、交叉循環においてはそう甚だしく増量しない。Donor の調整によるものであらうと考えられる。しかし死亡例は常に高値を示している。

交叉循環時の O_2 消費量は低流量灌流では異常に低下し²¹⁾ Clowes⁸⁷⁾ などでは約 50%, Bell⁸⁶⁾ 等は 25% にも達することを述べている。別に Paul⁹⁰⁾ は心室細動時の酸素消費量と冠血流量について実験した。著者の例では血流遮断中 Recipient が冠循環によつて消費される O_2 を含めていないのでこれを加算すると彼等

の値に近いものと思われる。

溶血は血漿 Hemoglobin 量でその程度を推測されたが Miller²⁹⁾, DeWall²¹⁾ は人工心肺で 100mg% 以上の高い値を示し、Roger³⁰⁾, Schimert³¹⁾, Shunway³¹⁾, Cross³¹⁾, Cott³³⁾, 広瀬⁹¹⁾,⁹²⁾ 等は割合低い値を報告している。交叉循環においては、酸素附加装置に伴う溶血を除外できるので 100mg% 以下の値になりその量は灌流量に略々比例している。

交叉循環における肝機能について血清高田反応, Cobalt 反応, Cholinesterase 値等によつて検査した限り著明なる変化を変えなかつた。

体外循環における死亡原因として Clowes⁸⁷⁾ は次の如く述べている。

- 1) 代謝性 Acidosis
- 2) 空気栓塞⁹³⁾
- 3) O_2 附加に欠陥のある場合
- 4) O_2 中毒

Stokes & Gibbon³²⁾ は脳出血と Pericardial effusion を重視し Bell⁸⁵⁾ は前述したように低流量灌流のとき Acidosis は直接の死因ではなく組織の Hypoxia

が最大の原因であるといっており、Waldhausen は、
1) 完全な消毒による発熱性物質の除去。2) 重曹水投与による Acidosis の治療。3) 血流量を測定改善。4) 広域抗生物質投与。によって死亡率が減少したと報じている。心内操作を行うに当つて警戒すべき合併症として心室細動⁹⁴⁾があり Lillehei²⁵⁾等は交叉循環の灌流量が Azygos factor の1~2倍では心室細動発生の可能性があり、3~5倍になると細動発生はみないと報じている。著者は Azygos factor の2倍量の灌流量で心操作を施行したが心操作所要時間が13分近くまでならば細動が起きない。しかし20分の血流遮断が極限であるから、心操作を20分~30分に亘つて行う際は Azygos factor の3倍以上の灌流量を与えなければならないと考える。また交叉循環の場合 Senning⁵⁸⁾、Glenn & Swell⁹⁵⁾のいう空気栓塞は余り考慮する必要がない。最も重要なのは灌流量の不足による組織、臓器の Hypoxia であり、それに加うるに Acidosis の問題がある。遮断時間が長くなると Hypoxia、Anoxia が各臓器、特に脳、心筋に不可逆性の変化をひき起し、それに加うるに Acidosis、手術侵襲の影響、末梢血管神経麻痺に基く循環不全（灌流血液の不均衡）などが合併して死亡に至るものと考えられる。

V. 結 論

成犬112頭を用い56組の交叉循環による体外循環法を行つたが、その際灌流量を Azygos factor を以つて基準とし種々に変じて検討し、心血流遮断実験並びに心臓内手術実験を行つて次の成績を得た。

1) 56組の実験中 Recipient は18例死亡し、Donor は1例のみ死亡した。従つて Recipient 生存率は68%である。Donor の体重が Recipient のそれより大なる場合、灌流量を Azygos factor と等しい例では心血流遮断許容時間は15~20分であり、灌流量が Azygos factor の2倍量の例では、遮断許容時間は約30分間であり、灌流量が Azygos factor の3倍量の例では遮断許容時間は約40分間である。

Donor の体重が Recipient のそれより小さい場合、灌流量が Azygos factor に等しい例では心血流遮断時間は約15分間であり、灌流量が Azygos factor の2倍量の例では遮断許容時間約20分間であり、灌流量が Azygos factor の3倍量の例では遮断許容時間は延長せず約20分間である。

灌流量を Azygos factor の2倍量にして20分間の心血流遮断を行い、心室切開、心室中隔欠損形成並びに閉鎖等の心腔内手術操作を行うことができた。

2) 小灌流量を以つて交叉循環を行い、心血流遮断

を行うときは Recipient において血圧低下し臓器の Hypoxia 発生の徴として、呼吸、脈搏の増加を来す。中枢神経系の障害として自発呼吸の停止、血圧の下降、脈搏の減少、不整、角膜反射の遅鈍、消失などが現われ、心筋の Anoxia の徴候として心細動が惹起する。これらの傾向は血流遮断時間の長いもの程、灌流量の少ないもの程著しく現われ、また、Donor が Recipient より小さいものにより多く現われる。

3) 交叉循環下に心血流遮断時の Recipient の心電図所見として冠不全の症状を示し、心室に手術操作を加えた例では刺激伝導系の障害を現わす。

4) 交叉循環下心血流遮断時の Recipient の血液 Hematocrit 値は低下する。出血並びに食塩水による稀釈に基くものと考えられる。

5) 交叉循環下心血流遮断時 Recipient に送られる動脈血 O_2 含量は遮断前よりも増加し、 O_2 飽和度も殆んど変らないで正常範囲内にある。Recipient の静脈血即ち混合静脈血の O_2 含量は遮断前よりも減少し O_2 飽和度も著明に減少する。遮断を解除しても増加せず寧ろ減少する。遮断中の動脈血 O_2 較差は術前からめると著明に大きくなる。Recipient に送られる動脈血の CO_2 含量は遮断中 多くは減少し静脈血 CO_2 含量は多くは増加する。従つて動脈血 CO_2 較差が大きくなる。これらの現象は Recipient に発生した Hypoxia 即ち O_2 欠乏、 CO_2 -過剰の状態を Donor がよく調整し生理的に近い血液を Recipient に与えていることを示している。しかし灌流量が少なく、血流遮断時間が長いとき、或いは Recipient が Donor よりも非常に大きいときは Recipient に発生した Hypoxia を改善させ得ないで中枢神経系の障害の下に死に至る。

6) 交叉循環による心血流遮断時の Recipient 血液 pH はすべての例において遮断中 0.1~0.4 の低下を来たし Acidosis を示したが静脈血 pH は動脈血 pH よりも変化が甚だしい。生存例においては遮断解除後血液 pH が稍々低下するもの及び、稍々上昇の傾向を示すものがあるが死亡例においては解除後も低下が著しい。動脈血 P_{CO_2} は生存例においては血流遮断時正常範囲にあり、遮断解除後も著しくは変化しない。死亡例においては遮断時上昇し、呼吸性 Acidosis の傾向を示す。静脈血 P_{CO_2} の変動は一層甚だしい。血液 Buffer Base はすべての例において減少し軽度の代謝性 Acidosis を示す。死亡例においては遮断解除後著明な減少をするが生存例においては殆んど減少しない。この傾向は灌流量の少ないもの、遮断時間の長いもの、Donor が Recipient より小さいもの程著明で

ある。交叉循環下の血流遮断中 Donor は Recipient に起る代謝性 Acidosis 呼吸性 Acidosis をよく調整し、人工心肺による体外循環の場合発生した代謝性 Acidosis を当該生体自身で調整しなければならないのとは類を異にする。

7) 交叉循環下の血流遮断時 Recipient の酸素消費量は著明に減少する。

8) 交叉循環下の心血流遮断時, Recipient における糖代謝中間産物として血灌焦性葡萄糖は遮断中緩やかに増加し血中乳酸は著明に増加し遮断解除後も減少の傾向が少なく、血糖は遮断中増加するが解除後減少の傾向を示す。

9) 交叉循環下の心血流遮断時の肝機能変化として血清高田反応, Cobalt 反応, Cholinesterase 値の変化をみると遮断後 24 時間までは障害がみられなかった。

10) 交叉循環下の心血流遮断例の死因としては, Hypoxia, Anoxia による中枢神経系の障害と冠不全による心室細動, 及び代謝性 Acidosis, 末梢血管痙攣等に基く循環系の Unbalance が考えられる。

11) 交叉循環中, Recipient への酸素の供給源となり, また Recipient に発生せる代謝性の Acidosis の統禦を行う Donor は自己の呼吸の外に Recipient の肺機能の負担が加わるわけである。この負担は灌流量の多い程, また Donor が Recipient よりも体重が劣り, その差が大きければ大きい程負担が大きくなる。その徴候として呼吸, 脈搏の増加が認められるが, Donor の統禦の能力は非常に大きく, たとえ Donor が Recipient の $\frac{1}{2}$ しかないものでも, 灌流量が少なければ充分にその役目を果し得るものである。しかし灌流量が多くなると次第にその統禦の能力を超えるようになり死の危険に露される。

拙筆するに臨み, 終始御懇篤な御指導, 御校閲を賜つた恩師ト部美代志教授に対し衷心から感謝の意を捧げると共に, 人工心肺研究班並びに教室員の御厚意に厚く感謝します。

文 献

- 1) Kerr, E., C. Davis, J. Woolsey, Jr, O. Grimes, H. B. Stephans, R. Byron, Jr, and H. J. McCordle : Surg. Forum Clin. Congress Am. College of Surgeons, Philadelphia W. B. Saunders Co., 222—229, (1952). 2)
- Southworth, J. L. and E. C. Peirce, Jr : Arch. Surg., 64, 58—63, (1952). 3)
- Andreasen, A. T. and F. Watson : Brit. J. Surg., 41, 195—206, (1953). 4) Lillehei,

- C. W., M. Cohen, H. E. Warden, N. R. Ziegler : Surg. Gynec. & Obst., 101, 446—466, (1955). 5) Jacoby, C. : Arch. exper. Path. u Pharmacol., 26, 338—400, (1890).
- 6) Bazett, H. C. and W. C. Quinby : Quart. j. exper. Physiol., 12, 199—226, (1919—1920).
- 7) Firor, W. M. : Am. J. Physiol., 96, 146—152, (1931). 8) Thalheimer, W., D. Y. Solandt, and C. H. Best : Lancet, 2, 554—556, (1938).
- 9) Solandt, D. Y., R. Nassin, and C. H. Best : Lancet, 2, 592—595, (1939).
- 10) Salisbury, P : Proc. Soc. exper. Biol. Med. N. Y., 71, 604—607, (1949).
- 11) Gibbon, J. H. Jr : Arch. Surg., 34, 1105—1131, (1937). 12)
- Gibbon, J. H. Jr. and C. W. Krraul : J. Lab. & Clin. Med., 26, 1803—1809, (1941).
- 13) Bigelow, W. G., G. C. Callaghan, and J. A. Hopps : Ann. Surg., 132, 531—539, (1950).
- 14) O'Shaughnessy, L : Lancet, 2, 969—971, (1939).
- 15) Andreasen, A. T. and F. Watson : Brit. J. Surg., 39, 548—551, (1952).
- 16) Gibbon, J. H. Jr. : Surg. Gynec. & Obst., 69, 602—614, (1939).
- 17) Dennis, C., D. S. Spreng, G. E. Nelson, K. E. Karlson, R. M. Nelson, J. V. Thomas, W. P. Eder, and R. L. Varco : Ann. Surg., 134, 709—742, (1951).
- 18) Gibbon, J. H. Jr : Minnesota Med., 37, 171—177, (1954).
- 19) Cooley, D. A., J. R. Laston, and A. S. Keats : Surg., 43, 214—225, (1968).
- 20) Kirklin, J., W. Dusbane, R. T. Patrick, D. E. Donald, P. S. Hatzel, H. G. Harshberger, and E. H. Wood : Proc. Staff. Meet Mayo Clinic, 30, 201—206, (1955).
- 21) DeWall, R. A., H. E. Warden, R. L. Varco, and C. W. Lillehei : Surg. Gynec. & Obst., 104, 699—710, (1957).
- 22) Cooley, D. A., B. A. Belmont, M. E. DeBailey, and J. R. Laston : Ann. Surg., 145, 898—914, (1957).
- 23) Cooley, D. A., A. B. Benjamin, J. R. Laston, and J. F. Pierce : J. Thoracic Surg., 35, 131—134, (1958).
- 24) Lillehei, C. W., M. Cohen, H. E. Warden, R. C. Read, J. B. Aust, R. E. DeWall, and R. L. Varco : Ann. Surg., 142, 418—454, (1955). 25)

- Lillehei, C. W., M. Cohen, H. E. Warden, and R. L. Varco : *Surg.*, 38, 11-29, (1955).
- 26) 木本誠二・林周一・穴沢雄作・甲田安二郎・浅野猷一・服部隆雄・稲田豊・吉村享・上井巖・水野明・渡辺裕・坂内五郎・常本実・浦上正躬 : 胸部外科, 8, 448-457, (昭和30年).
- 27) Musterd, W. T., A. L. Chute, and H. E. Simmonds : *Surg.*, 32, 801-810, (1952).
- 28) Murray, N. A : *Surg.*, 43, 1021-1023, (1957).
- 29) Miller, B. J., J. H. Gibbon, Jr., and C. Fineberg : *Med. Clin. North. Am. W. B. Saunders Co.*, 37, 1603-1624, (1953).
- 30) Roger, F., R. V. Woude, and J. D. Morris : *Surg.*, 42, 986-992, (1957).
- 31) Schimert, G. : *Surg.*, 40, 1018-1022, (1956).
- 32) Stokes, T. L., and Gibbon, J. H. : *Surg. Gynec. & Obst.*, 91, 138-156, (1950).
- 33) Gott, V. L., R. A. DeWall, and C. W. Lillehei : *Thorax*, 12, 1-9, (1957).
- 34) Helmsworth, J. A., L. C. Clark, S. Kaplan, and R. T. Sherman : *J. Thoracic Surg.*, 26, 617-632, (1953).
- 35) Merendo, K. A., W. E. Quinton, G. I. Thomas, J. E. Josseph, P. W. Herron, R. E. Tremblay, R. X. Maguire, and R. R. Vetto : *Surg.*, 42, 996-1001, (1957).
- 36) Sealy, W. C., I. W. Brown, W. G. Young, C. R. Stephan, J. S. Harris, and D. Merritt : *Surg. Gynec. and Obst.*, 104, 441-450, (1957).
- 37) Sealy, W. C., I. W. Brown, W. G. Young : *Ann. Surg.*, 147, 603-613, (1958).
- 38) Diettert, G. A., B. A. Bercu, and T. B. Ferguson : *J. Thoracic Surg.*, 35, 416-420, (1958).
- 39) Dodrill, F. D., E. Hill, R. A. Gerish, and A. Johnson : *J. Thoracic Surg.*, 26, 548-597, (1953).
- 40) Diesh, F., P. J. Flynn, S. A. Marable, D. G. Mulder, K. J. Schmutzer, W. P. Longmire, and J. V. Maloney : *Surg.*, 42, 67-75, (1957).
- 41) 木本誠二・林周一・穴沢雄作・水野明・坂内五郎・岩間潤太郎・鹿田和夫・二之宮景光・庄司佑・吉岡隆・大谷五郎 : 胸部外科, 9, 569-580 (昭和31年).
- 42) 曲直部寿夫・藤本淳・星田嘉明・佐藤安正・森永堯・国枝亮・久保昌一・芝原彌・安藤一・豊田裕三・西山実・佐藤晃三・岡部安三・田中衛・玉置博・川上厚志・一宮源太・小林芳夫・沢田智・田辺玄三・清水宏・高橋義直 : 臨牀外科, 11, 443-449, (昭和31年),
- 43) 井上雄・飯塚積・石山季彦・関川大司・間中享・小泉乙也・丸山純一・石津晃 : 胸部外科, 7, 123-128, (昭和29年).
- 44) 榊原仟・織畑秀夫・林久恵・谷健一・坪井重雄・管間直・高橋敬亮・千葉智世・石原昭・大沢幹夫・田中孝・清水寿子・納谷金一・阿久根淳 : 外科, 19, 301-307, (昭和32年).
- 45) McCaughan, J. S., H. McMichael, J. C. Schulder, and C. K. Kirby : *Surg.*, 44, 210-219, (1958).
- 46) Van Slyke-Neill : *The Williams 5 Wilkins Company, Baltimore* (1932).
- 47) 阿部寿人 : 医学書院, 120-130, (1957).
- 48) Singer, R. B., and B. Hasting : *Medicine*, 27, 223-242, (1948).
- 49) 齊藤正行 : Dinitrophenyl hydrazin, 南山堂, (昭和29年).
- 50) 齊藤正行 : Hydroxydiphenyl, 南山堂, (昭和29年).
- 51) Hagedorn, H. C., and B. N. Jensen : *Biochem. Zschr.*, 135, 46-58, (1958).
- 52) Flink, E. B. : *J. Biol. Chem.*, 146, 171-178, (1942).
- 53) 金井泉 : 臨牀検査法提要, 金原出版社, XI 10-13, (昭和30年).
- 54) 西田隆一 : 十全医学会雑誌, 57, 872-883, (昭和30年).
- 55) Andreasen, A. T. and F. Watson : *Brit. J. Surg.*, 40, 616-621, (1953).
- 56) Cohen, M., and C. W. Lillehei : *Surg. Gynec. and obst.*, 98, 225-232, (1954).
- 57) Maraist, F. B., and W. W. L. Glenn : *Surg.*, 31, 146-160, (1952).
- 58) Senning, A. : *Acta chir. scandinav. suppl.*, 171, Stockholm (1952).
- 59) Helmsworth, J. A., L. C. Clark, Jr., S. Kaplan, and C. Ford : *Surg. Forum, Philadelphia W. B. Saunders Co.*, 35-39, (1954).
- 60) 三枝正裕・水野明・坂内五郎・野田栄次郎・井上和雄 : 胸部外科, 11, 10-18, (1958).
- 61) Peirse, E. C., C. H. Dabbs, W. K. Rogers, F. L. Rawson, and R. Topkins : *Surg. Gynec. & Obst.*, 107, 339-352, (1958).
- 62) Heberer, G., F. Kootz, G. Meyer-Wegner, and R. M. Weiss : *Langenbecks Arch.*, 283, 601-625, (1957).
- 63) Spurr, G. B., B. K. Hutt, and S. M. Horvath : *Am. J. Physiol.*, 178, 275-282, (1954).
- 64) Maguire, R. X., and K. A. Merendo : *Arch. Surg.*, 70,

- 367-373, (1955). 65) Clark, L. C., S. Kaplan, E. C. Mathews, F. K. Edwards, and J. A. Helmsworth : J. Thoracic Surg., 36, 463-469, (1958). 66) Cross, F. S., and E. B. Kay : Surg. Gynec. & Obst., 104, 711-716, (1957). 67) Kay, J. H., and R. M. Andreason : J. Thoracic Surg., 36, 463-469, (1958). 68) Lewis, F. J., S. A. Niazi : Surg. Gynec. & Obst., 106, 751-755, (1958). 69) Spencer, F. C., J. R. Jude, and H. J. Bahnson : Surg., 42, 76-91, (1957). 70) Warden, H. E., M. Cohen, R. C. Read, and C. W. Lillehei : J. Thoracic Surg., 28, 331-343, (1954). 71) Wesolowski, S. A., and J. H. Fisher : Surg. Gynec. & Obst., 95, 762-771, (1952). 72) Mustard, W. T., W. Sapirstein, and Mrs. Pav. D. : J. Thoracic Surg., 36, 479-484, (1958). 73) Cohen, M., H. E. Warden and C. W. Lillehei : Surg. Gynec. & Obst., 98, 523-529, (1954). 74) Read, R. C., P. G. George, M. Cohen, and C. W. Lillehei : Surg., 40, 840-846, (1956). 75) Dodrill, F. D. : J. A. M. A., 154, 229-304, (1954). 76) Waldhausen, J. A., R. C. Webb, F. C. Spencer, and H. J. Bahnson : Surg., 42, 726-733, (1957). 77) Campbell, G. S., N. W. Crisp, and E. B. Brown : Surg., 40, 364-371, (1956). 78) Miller, B. J., J. H. Gibbon, Jr., and M. H. Gibbon : Ann. Surg., 134, 694-708, (1951). 79) Helmsworth, J. A., L. C. Clark, Jr., S. Kaplan : J. Thoracic Surg., 24, 117-133, (1952). 80) Prescott, J. Jr., G. E. Tolstedt, and F. F. Beretta : J. Thoracic Surg., 35, 411-415, (1958). 81) Shunway, N. E. M. L. Gleidmann, and F. J. Lewis : Surg., 40, 831-839, (1956). 82) Read, W. A., and C. F. Kittle : Ann. Surg., 148, 219-225, (1958). 83) Nelson, R. M. : Ann. Surg., 134, 885-896, (1951). 84) Fine, J., H. A. Frank, and A. M. Seligman : Ann. Surg., 122, 652-662, (1945). 85) Hardy, E. G., G. C. Morris, Jr., E. M. Yow., B. W. Haynes, Jr., and M. E. DeBakey : Ann. Surg., 139, 282-286, (1954). 86) Bell, A. L. L., H. F. Fitzpatrick, E. Andreae, S. Shimomura, and R. Pingeon : Ann. Surg., 148, 968-978, (1958). 87) Clowes, G. H. A., W. E. Neville, G. Sabga, and Y. Sibota : Surg., 44, 220-239, (1958). 88) 菅間直 : 日本外科学会雑誌, 59, 1493-1512, (昭和33年). 89) 堂野前維摩郷 : 心臓外科研究, 医学書院, 479-485, (1958年). 90) Paul, M. H., E. O. Theilen, D. E. Gregory, J. B. Marsh, and G. G. Gasten : Circulation Research, 2, 573-578, (1954). 91) 広瀬洋一 : 日本外科学会雑誌, 59, 1694-1704, (昭和34年). 92) 広瀬洋一 : 日本外科学会雑誌, 59, 1760-1779, (昭和34年). 93) Clowes, G. H. A., W. E. Newille, A. Hopkins, J. Anazola, and F. A. Simoeone : Exper. Clin. Surg., 36, 557-579, (1954). 94) Kirby, C. K., J. M. Jensen, and J. Johnson : Arch. Surg., 68, 663-665, (1954). 95) Glenn, W. W. L., W. H. Sewell, Jr., and N. H. Conn : Surg., 34, 195-206, (1953).

Abstract

The author performed the extracorporeal circulation by way of 56 pairs' controlled cross circulation using 112 adult dogs. On this occasion, the perfusing blood rate was studied by means of "Azygos factor" as standard of perfusion, and the experiments of both occlusion of cardiac blood flow and intracardiac operation were made. The results obtained were as follows ;

1) Among the 56 pairs' experiments, the 18 cases of recipient and only 1 case of donor died, so that the survival rate of recipient was 68%. When the body weight of donor was greater than that of recipient, in the case the perfusing amount was the same with that of azygos factor, the possible time of occlusion of cardiac blood flow was from 15 to 20 minutes, in the case the perfusing amount was twice as much as that of azygos factor, the possible time was about 30 minutes, and in the case of three amount, about 40 minutes.

When the body weight of donor was smaller than that of recipient, in the case of the same perfusing amount as azygos factor, the capable time of occlusion of cardiac blood flow was about 15 minutes, in the case with twice perfusing amount as much as azygos factor, it was about 20 minutes, and in the case of three times perfusing amount as much as azygos factor, likewise about 20 minutes. Occluding the cardiac blood flow for 20 minutes with twice perfusing amount as much as azygos factor, the author was able to perform the intra-cardiac operations such as cardiectomy, creation and closure of intraventricular septal defect.

2) When the cardiac blood flow was occluded under cross circulation with small perfusing amount, the blood pressure of recipient fell and both the respiration and pulse rate increased as a sign of hypoxia of organs. As a disturbance of central nervous system, there occurred standstill of spontaneous respiration, fall of blood pressure, decrease of pulse rate, arrhythmia and retardation and disappearance of corneal reflex; and ventricular fibrillation was raised as a sign of myocardial anoxia. The longer the time of occlusion of cardiac blood flow was, and the smaller the perfusing amount was, the more remarkably these symptoms were caused. And when donor was smaller than recipient, these appeared more frequently.

3) When the cardiac blood flow was occluded under cross circulation, the ECG of the recipient showed the finding of coronary insufficiency and the case in which the ventricle was intervened with operative procedure, gave the finding of disturbance of stimulus conduction system.

4) The hematocrit values of blood of the recipient under the occlusion of cardiac blood flow using cross circulation, decreased. It was considered that this was due to the bleeding as well as to the dilution of blood with saline.

5) Under the occlusion of cardiac blood flow using cross circulation, O_2 volume of arterial blood perfused into the recipient, increased than that before occlusion, and O_2 saturation was nearly normal. The O_2 volume of venous blood of recipient, namely that of mixed venous blood, decreased than that before occlusion, and the O_2 saturation decreased markedly, too. Even when the occlusion was released, this volume rather decreased than increased. The arterio-venous O_2 difference during occlusion, increased markedly in comparison with that before occlusion. The CO_2 volume of arterial blood perfused into recipient, decreased mostly during occlusion, and CO_2 volume of venous blood increased for the most part. Accordingly, the arteriovenous CO_2 difference became large. These phenomena suggested that donor regulated profitably the state of hypoxia occurred in recipient and sent the fast normal blood to recipient. But, when the perfusing amount was small and the time of occlusion of blood flow was long, or when the recipient was much larger than the donor, the donor could not improve the state of hypoxia, so that the recipient died because of the disturbance of central nervous system.

6) When the cardiac blood flow was occluded under cross circulation, the blood pH of recipient lowered 0.1–0.4 in all cases during occlusion, showing acidosis, but pH of venous blood changed more markedly than that of arterial blood. In the survivals, the blood pH after release of occlusion showed either slight lowering or slight rising, but in the dead, it was lowered markedly even after release of occlusion. The P_{CO_2} of arterial blood of the survivals was in normal range during occlusion of blood flow and did not change markedly after release of occlusion. In the dead, the P_{CO_2} of arterial blood rose during occlusion, showing the tendency of respiratory acidosis. The changes of P_{CO_2} of venous blood were still more remarkable. The buffer base of blood decreased in all cases and showed slight metabolic acidosis. In the dead, it decreased markedly after release of occlusion, while in the survivals, it hardly decreased. This tendency was conspicuous when the perfusing amount was small, the time of occlusion was long, and the donor was smaller than recipient. During the occlusion of cardiac blood flow using cross-circulation, donor regulated sufficiently the metabolic and respiratory acidosis occurred in recipient. This differed from the conditions that in extracorporeal circulation using mechanical heart and lung apparatus, the living body itself had to regulate the occurred metabolic acidosis.

7) When the cardiac blood flow was occluded under cross circulation, the O_2 consumption of recipient decreased markedly.

8) During the occlusion of cardiac blood flow using cross circulation, the pyruvic acid of blood increased slowly and the lactic acid of blood increased remarkably having weaker tendency of decrease even after release of occlusion. The blood sugar increased during occlusion, but showed the tendency of decrease after release of occlusion.

9) During the occlusion of cardiac blood flow using cross circulation, the liver function was investigated by means of serum Takata' reaction, serum Co-reaction and cholinesterase value of blood. Within 24 hours after occlusion, no disturbance of liver function was observed

10) Disturbance of central nervous system caused by hypoxia and anoxia, the ventricular fibrillation caused by coronary insufficiency, and the unbalance of circulatory system due to the metabolic acidosis and the paralysis of peripheral blood vessels were regarded as the cause of death of the cases where the cardiac blood flow was occluded under cross circulation.

11) During cross circulation, the donor which became the supplying source of O_2 to the recipient and regulated the metabolic acidosis brought about in the recipient should perform not only its own respiration, but also the pulmonary function of the recipient. The burden of its double role became heavier, if the perfusing amount increased and the quality of blood became worse. And if the donor had less body weight than the recipient, the burden is dispensation became heavier in accordance with the difference of their body weight. As the sign of excess of dispensation, there were observed the increase of respiration and pulse rate. But the capacity of regulation of donor was very large. Even if the donor's body weight was only 1/2 of that of recipient, the donor could fulfil its duty sufficiently if only the perfusing amount was little. However, if the perfusing amount increased, the dispensation of donor exceeded its capacity of regulation and the recipient tended to die.
