

急性呼吸不全に対する補助循環の実験的研究 —とくに灌流中および直後の血行動態について—

山口大学医学部第1外科学教室（主任：八牧力雄教授）

友 沢 尚 文

〔原稿受付：昭和54年1月10日〕

Experimental Evaluation of Assisted Extracorporeal Circulation for Pulmonary Failure in Dogs with Special Reference to Hemodynamic Changes

NAOFUMI TOMOSAWA

The 1st Department of Surgery, Yamaguchi University, School of Medicine
(Director : Prof. Dr. RIKIO YAMAKI)

1) Death frequently occurs after extracorporeal circulation for acute respiratory failure has been instituted although such a critical condition has been significantly improved during perfusion. The purpose of this study is to learn the reasons for these contradictory results.
2) In dogs, severe hypoxemia (PaO_2 , 30-40 mmHg) was induced by a continuous inhalation of 6% oxygen-mixed gas. Venovenous and venoarterial perfusions were performed for 180 minutes, using Harvey's oxygenator.

i) Venovenous Perfusion

The inferior vena cava was cannulated through the right femoral vein to drain the venous blood by gravity. After oxygenation, the blood was pumped into the superior vena cava through a cannula inserted via the right jugular vein. The orifice of the inferior vena cava was occluded by a Fogarty's balloon-tipped catheter inserted through the left femoral vein.

ii) Venoarterial Perfusion

The Superior and inferior venae cavae were cannulated through the right jugular and femoral veins, respectively, to drain the venous blood by gravity.

The blood was pumped into the right carotid artery through a catheter after oxygenation.

The dogs were classified as follows :

Group I, Venovenous perfusion with a flow rate of 50 ml/kg/min.

Group II, Venoarterial perfusion with a flow rate of 50 ml/kg/min.

Group III, Venoarterial perfusion with a flow rate of 100 ml/kg/min.

In order to evaluate the effects of these therapeutic maneuvers on the circulatory system,

Key words : Acute respiratory failure, Venovenous perfusion, Venoarterial perfusion, Cardio-pulmonary dynamics, Myocardial oxygen tension.

Present address : The 1st Department of Surgery, Yamaguchi University, School of Medicine, Ube, Yamaguchi, 755, Japan.

the following measurements were performed in all three groups before, during and after perfusion: systemic arterial, pulmonary arterial and left atrial pressure; blood gas analysis in the aortic root, pulmonary artery and left atrium; cardiac output; myocardial oxygen tension; intrapulmonary shunt rate; and left ventricular stroke work.

3) Results:

i) The mean arterial and pulse pressures fell only slightly in the venovenous group but decreased progressively in the venoarterial groups, especially in the high flow group. The loss of priming blood and the elevation of the left atrial pressure following perfusion were greater in the venoarterial groups. These findings are indicative of more blood pooling in the whole body concomitant with venoarterial perfusion.

ii) After perfusion, the left ventricular stroke work did not fall below the pre-perfusion level in the venovenous group but decreased markedly in the venoarterial groups.

iii) In the venoarterial perfusion, the oxygen saturation level of the aortic root blood, (supplied to the myocardium through the coronary arteries) was in proportion to the flow rate, i.e. inversely proportional to the cardiac output. However, in the venovenous perfusion such a correlation was not found.

iv) It was demonstrated that the coronary arterial oxygen delivery is in direct proportion to the myocardial oxygen tension. In regard to the coronary arterial oxygen delivery as evidenced by the myocardial oxygen tension in our experiments, the venovenous perfusion was much superior to the venoarterial ones.

v) In the venovenous group, the mean pulmonary arterial pressure rose markedly concomitant with a significant increase in the intrapulmonary shunt rate, while in the venoarterial group it fell considerably with a subsequent gradual increase associated with small increments in the shunt rate. The venovenous perfusion increased the burden upon the pulmonary circulation, but the venoarterial perfusion, especially when using a high flow rate, lightened it.

vi) It was theorized that intrapulmonary deoxygenation occurred in the venovenous perfusion because the oxygen saturation level was lower in the left atrium than in the pulmonary artery.

重症呼吸不全に対し、補助循環を行う場合、静脈—動脈灌流は酸素付加効率の面より、静脈—静脈灌流よりも有利である。しかし、前者では後者におけるより、灌流量を容易に増加せしめることができるが⁷⁾、これが大量になると循環動態はほとんどポンプに依存することになり、適正灌流量の問題が生じてくる。これに対し、静脈—静脈灌流ではより生理的な循環動態は得られるが⁵⁾、充分な灌流量が得られず、右心負荷を軽減できない短所がある^{4) 6)}。教室の角¹⁰⁾および中山¹²⁾は灌流中の血液ガス交換面より重症呼吸不全犬に対し、高流量による静脈—動脈灌流が最も有効である

と報告した。しかし、著者は実験動物の多くが灌流終了と同時に心不全で死亡することに気付き、補助循環の血行動態に及ぼす影響を一層詳細に知る必要を痛感し、本研究を行った。

対象および方法

体重9～15kgの雑種成犬を Nembutal 30 mg/kg の静脈麻酔下に気管内挿管し、毎分20回、1回換気量30ml/kgの間歇的陽圧呼吸下に、胸骨横断を伴う第4肋間における両側開胸を行った。ヘパリン 1.5mg/kgを静注し、静脈—動脈灌流(以下V—Aと省略)では

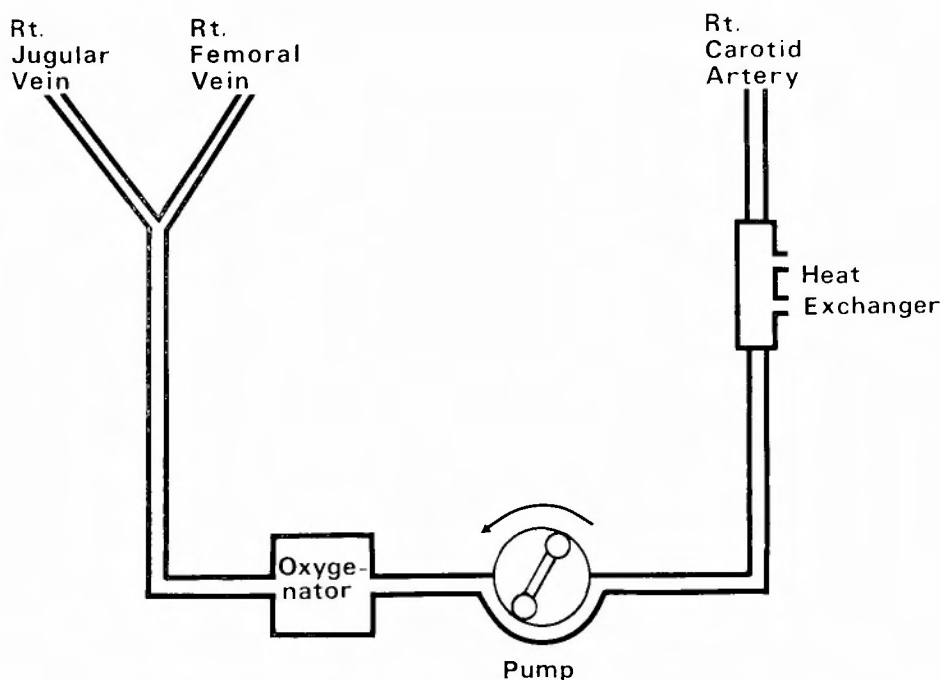


Fig. 1 Following heparinization, plastic catheters of the largest possible diameter were inserted into the superior and inferior venae cavae through the right jugular and femoral veins, respectively, in order to drain the venous blood by gravity into Harvey's oxygenator. The oxygenated blood was pumped into the right carotid artery through a cannula. Brown-Harrison's heat exchanger and a bubble trap were incorporated into the arterial line.

右外頸静脈、右大腿静脈よりそれぞれ、上・下大静脈に脱血管を、右総頸動脈に送血管を挿入し、体外循環に連結した (Fig. 1)。静脈—静脈灌流 (以下 V—V と省略) では右大腿静脈より下大静脈に脱血管を、右外頸静脈より上大静脈に送血管を挿入し、体外循環に連結した。この際、送血された酸素付加血が直接下大静脈の脱血管より脱血されないよう、Fogarty パルーンカテーテルを左大腿静脈より挿入し、下大静脈を右房開口部で閉塞した (Fig. 2)。気泡型人工肺 (Harvey Model H 800) を用い、血流量の 1.5 倍の酸素で静脈血を酸素化し、ローラーポンプで送血した。実験動物に、6% の酸素と 94% の窒素との混合ガス (以下混合ガスと省略) を従量式呼吸器をもって吸入せしめ、動脈血酸素分圧を 30~40mmHg に低下せしめた後、下記の如く 21 頭の犬を 3 群に別け、3 時間の補助循環を行った。

I 群: V—V, 流量 50ml/kg/min (6 頭)

II 群: V—A, 流量 50ml/kg/min (8 頭)

III 群: V—A, 流量 100ml/kg/min (7 頭)

灌流中は熱交換器により直腸温をほぼ 37°C に維持した。体外循環の充填量は約 1000ml で、ヘパリン加同種新鮮血に乳酸加リンゲル液を加え、20% 希釈とした。充填血液が減少した時には、乳酸加リンゲル液で 20% に希釈した同種血液を追加した。灌流前、灌流中 30 分毎、灌流終了時に下記の測定を行った。実験方法の概要は Fig. 3 に示す

1. 大動脈圧および肺動脈圧: Cournand カテーテルをそれぞれ大腿動脈および左上肺動脈に挿入し、日本光電社 Model MPU—0.5 標準圧用トランスジューサーに接続した。

2. 左房圧: 左心耳より左房内に Cournand カテーテルを留置し、生理的食塩水マンメーターで測定した (左房の高さを 0 点とし、cmH₂O で表わした)。

3. 心拍出量: 大動脈根部に日本光電社体内型血流プローベ (FA-0140) を装着し、電磁血流計 (MF-26) で測定した。

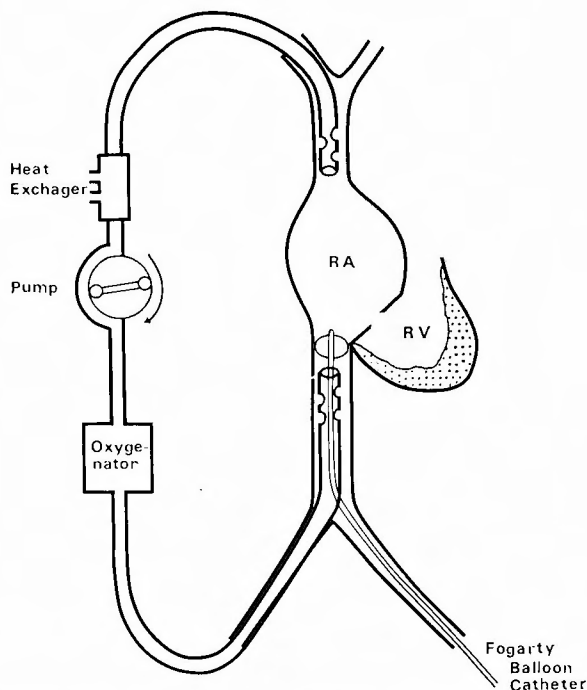


Fig. 2 Inferior and superior venae cavae were cannulated via the right femoral and jugular veins, respectively. The venous blood was drained by gravity through the femoral vein, while the oxygenated blood was pumped into the jugular vein. In order to prevent the infused blood from draining directly through the inferior cannula, the orifice of the inferior vena cava was occluded by a Fogarty's balloon catheter inserted through the left femoral vein.

4. 心筋酸素分圧：左室前壁の心筋に IBC 社 Model 660 Oxygen Electrode を刺入し、その先端が心筋層深部にあるようにし、Model 630-001 溶存酸素計に接続した。

5. 血液ガス分析：あらかじめ挿入しておいた細管によりそれぞれ左房血、肺動脈血、大動脈血を採取し、酸素および炭酸ガス分圧、pH を Corning 社 Model 160 ガス分析装置で、酸素飽和度を American Optical Company Model 10804 Oximeter で、血液ヘモグロビンを Erma Model 303 Hb-meter で測定した。血液の酸素含有量は下記の式より算出した。

$$\text{酸素含有量} = 1.34 \times \text{ヘモグロビン量} \times \text{飽和度} + 0.003 \times \text{酸素分圧}$$

6. 肺内シャント率 $\dot{Q}_s/\dot{Q}_T$ ：補助循環前後に純酸素を20分間吸入せしめ、その時の体動脈血および肺動脈血の酸素分圧より、下記の式を用いて算出した。

$$\dot{Q}_s/\dot{Q}_T = \frac{C_{CO_2} - C_{AO_2}}{C_{CO_2} - C_{VO_2}}$$

但し

C_{CO_2} ：肺毛細管酸素含有量

$C_{CO_2} = 1.34 \times \text{ヘモグロビン} +$

$0.003 \times \text{肺毛細管血酸素分圧}$

(肺毛細管血酸素分圧 $\approx 760 - 47 - \text{動脈血炭酸ガス分圧}$)

C_{AO_2} ：体動脈血酸素含有量

C_{VO_2} ：肺動脈血酸素含有量

7. 左室1回仕事量：灌流前および灌流後40分に室内空気を吸入せしめた時の左室1回仕事量を下記の式で算出した。

$$SW = \frac{(\bar{A} - \bar{L}\bar{A}) \times SV \times 1.36}{100}$$

但し、SW：左室1回仕事量 (gM)

$\bar{A}$ ：動脈平均圧 (mmHg)

$\bar{L}\bar{A}$ ：左房平均圧 (mmHg)

SV：1回心拍出量 (ml)

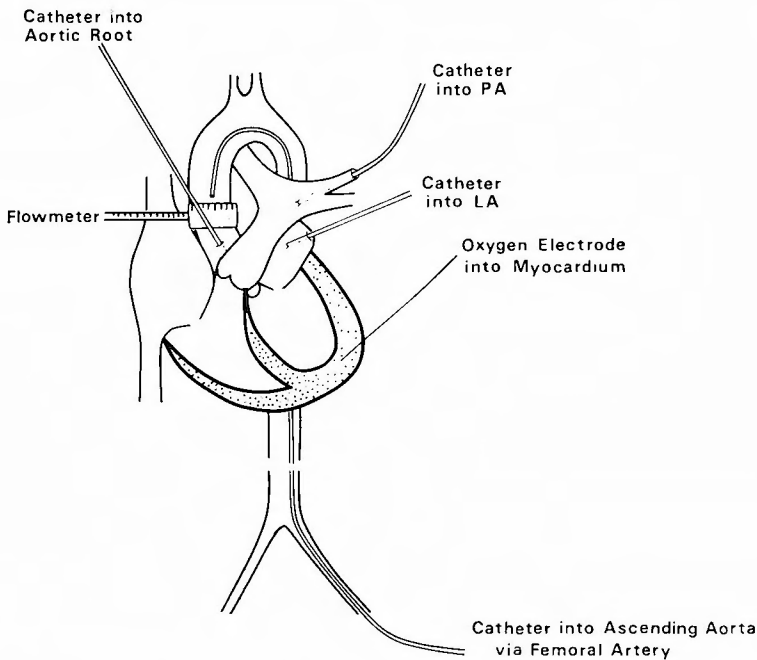


Fig. 3 Essential features to be measured or observed during the experiment.

結 果

灌流終了後40分以上生存したものはI群100%(6/6) II群62.5%(5/8), III群 71.4%(5/7)であった。これら生存した犬を用い、各群を比較検討した。

1) 大動脈根部の血液酸素飽和度の変動

V-Aにおいて送血(酸素付加血)が大動脈根部に達し、更に冠動脈に流入するか否かを知るために大動脈根部の血液の酸素飽和度を測定した。灌流開始前(室内空気吸入)の動脈血酸素飽和度はI群 $96.6 \pm 2.8\%$,

II群 $93.7 \pm 3.8\%$, III群 $95.5 \pm 2.7\%$ であった。混合ガス吸入により、それぞれ $77.4 \pm 10.7\%$, $73.1 \pm 4.5\%$, $73.6 \pm 10.0\%$ に低下した。灌流開始後30分ではI群 $90.1 \pm 4.3\%$, II群 $90.1 \pm 5.3\%$, III群 $98.5 \pm 1.3\%$ とI, II群はほぼ同値を示し、その後も灌流中はこの値を維持したが、III群では98%以上の高値を維持した。灌流終了直後、20分間純酸素を吸入せしめ、次いで室内空気吸入後20分で酸素飽和度を測定すると、I群 $51.5 \pm 13.8\%$, II群 $67.1 \pm 15.1\%$, III群 $76.5 \pm 14.9\%$ とI群はIII群より有意に低値となった($P < 0.05$)

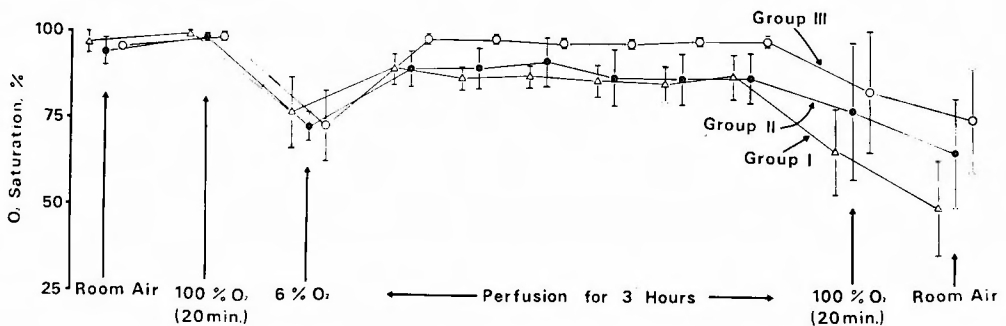


Fig. 4 During and after perfusion, the highest oxygen saturation levels of the aortic root blood occurred in Group III. A statistically significant difference ($p < 0.05$) between Groups III and I was found after perfusion.

(Fig. 4).

しかし、I群とII群およびII群とIII群との間には有意差がなかった。大動脈根部の血液酸素飽和度、すなわち冠動脈血酸素飽和度より見て、III群(V-A, 100 ml/kg/min)が有意差をもって高値であった。

2) 大動脈根部の血液酸素分圧とポンプ流量

混合ガス吸入後の計16頭の大動脈根部動脈血酸素分圧は 37.2 ± 7.4 mmHg, ポンプ送血の酸素分圧は 511.5 ± 50.9 mmHg であった。

V-A においては

$$\frac{\text{ポンプ流量}}{\text{心拍出量} + \text{ポンプ流量}} \times 100(\%)$$

V-V においては

$$\frac{\text{ポンプ流量}}{\text{心拍出量}} \times 100(\%)$$

をそれぞれ流量比とし、大動脈根部の血液酸素分圧との関係を検討した。流量比はI群 71.2 ± 12.1 , II群 44.1 ± 9.1 , III群100であった。大動脈根部の血液酸素分圧と流量比との関係を見ると、I群では両者に一定の関係を認めなかったが(Fig. 5, A) II群では流量

比が増加するにつれて酸素分圧は上昇した(Fig. 5, B)

3) 肺動脈および左房血の酸素飽和度の変動

肺動脈血の酸素飽和度は灌流30分後では、I群 $97.6 \pm 0.93\%$, II群 $49.5 \pm 13.8\%$, III群 $70.8 \pm 1.7\%$ とI群が最も高く、次いでIII, II群の順となり、以後もこの順序を維持した(Fig. 6, A)。これに対して、左房血の酸素飽和度は灌流30分で、I群 $90.5 \pm 5.8\%$, II群 $68.5 \pm 9.6\%$, III群 $91.3 \pm 5.1\%$ とII群が最も低く、IおよびIII群では近似し、それ以後もほぼ同様な経過をとった。左房血ではII群とIおよびIII群との間に灌流中はそれぞれ有意差を認めた($P < 0.05$) (Fig. 6, B)。灌流中の左房血の酸素飽和度は、V-Aの50 ml/kg/minでは、V-Aの100 ml/kg/minおよびV-Vよりも著しく低かった。V-Vにおいて、左房血酸素飽和度が肺動脈のものより軽度低下していたことは、肺において脱酸素現象が起きたためと思われる。

4) 平均体血圧および脈圧の変動

灌流前値の平均体血圧を100とすると、灌流30分ではI群 79.2 ± 13.0 , II群 79.6 ± 16.0 , III群 102.0 ± 11.0 ,

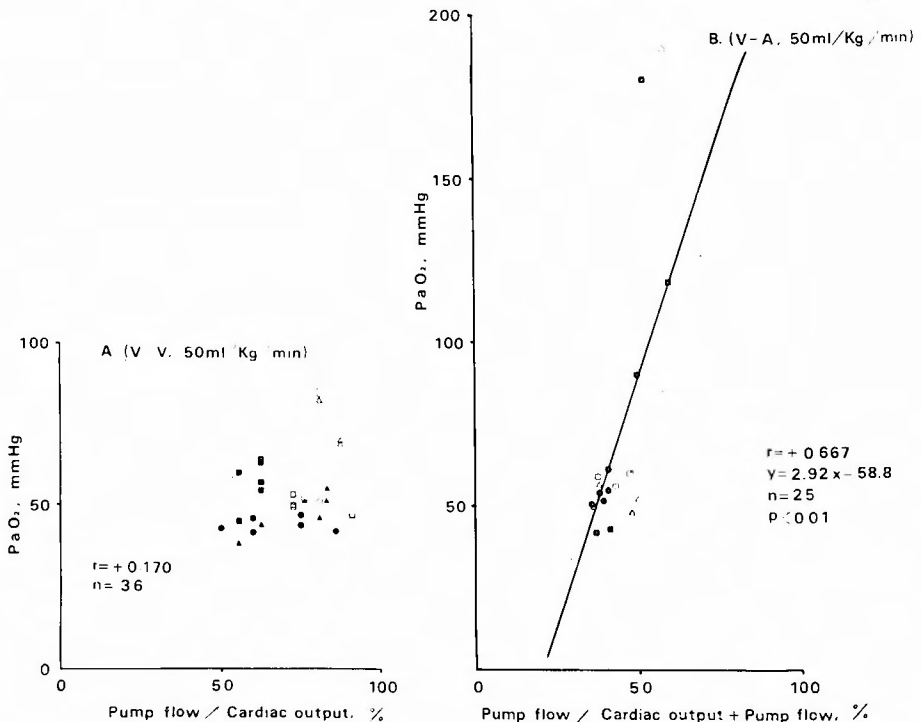


Fig. 5 In Group II (B), the more the cardiac output increased, the lower the PaO_2 in the aortic root fell, while in Group I (A), no correlation was found on these two measurements.

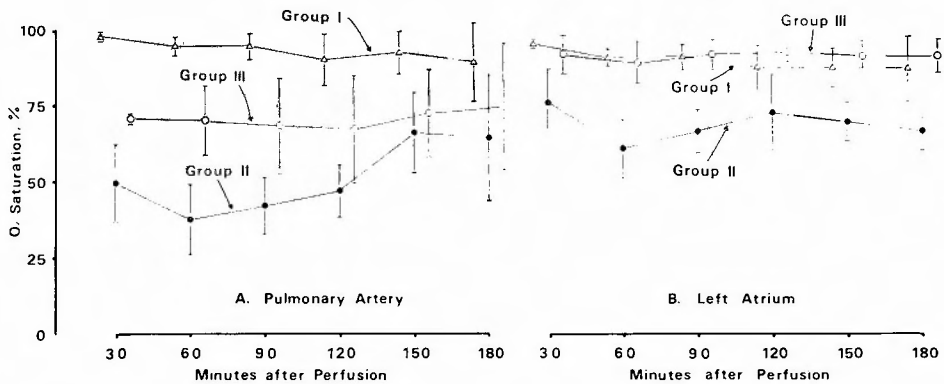


Fig. 6 In the pulmonary artery, the oxygen saturation level was the highest in Group I, the next in Group III, and the lowest in Group II throughout the perfusion. In the left atrium, this measurement in Group I was almost the same as in Group III, and was the lowest in Group II. There were statistically significant differences ($p < 0.05$) between Group II and the other two groups. The oxygen saturation level of Group I was slightly lower in the left atrium than in the pulmonary artery. This is indicative of intrapulmonary deoxygenation.

であった。灌流とともに、いずれの群においてもやや低下したが、灌流前値のほぼ80%にとどまった。しかし、灌流終了後20分間純酸素を吸入せしめ、次で室内空気に切り換えた時点では、I群 65.4 ± 30.0 、II群 57.4 ± 15.0 、III群 57.0 ± 20.0 、とIIおよびIII群はI群に比較しやや低下した (Fig. 7)。脈圧は灌流前値を100とすると、灌流中はI群 127.1 ± 68.7 、II群 72.7 ± 45.8 、III群 47.7 ± 18.2 、で、I群がほぼ灌流前値を維持したのに対し、IIおよびIII群は著しく減少し、特にIII群では経時的に減少した。灌流中の回路補充血液量はI群

$320 \pm 84\text{ml}$ 、II群 $700 \pm 230\text{ml}$ 、III群 $2800 \pm 140\text{ml}$ 、とIII群が著しく多量であった。

要するにV-Vに比し、V-Aでは平均血圧は灌流終了直後やや低下し、脈圧は特に流量 100ml/kg/min の時著しく減少した。また、V-Aでは高流量の時はど血液の体内貯溜が著しかった。

5) 左房圧の変動

灌流前室内空気吸入時の左房圧を100とすると、灌流30分ではI群 118.6 ± 25.8 、II群 94.1 ± 26.5 、III群 84.0 ± 8.0 、とI群は灌流前に比較してやや上昇した

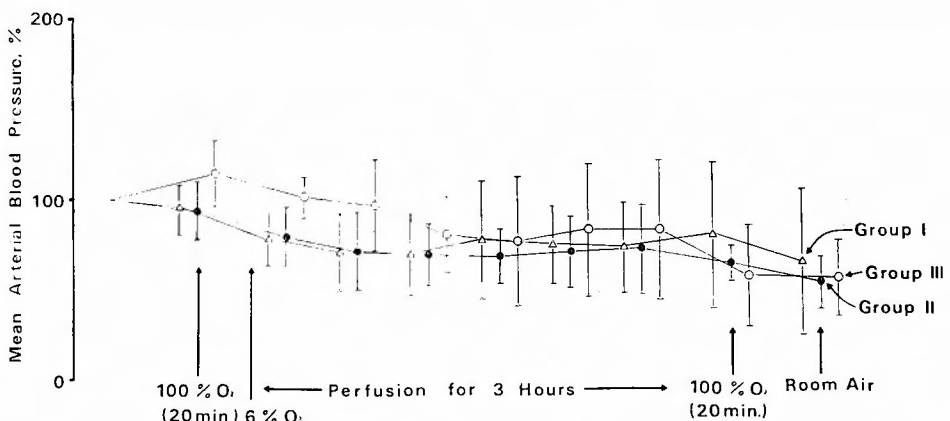


Fig. 7 During the first half of the perfusion, the mean arterial pressure fell less in Group III than in Groups I and II. Immediately after perfusion, it was slightly lower in Groups II and III than in Group I.

のに対し、IIおよびIII群では低下し、I群とIII群の間に統計的有意差を認めた ($P<0.05$)。これらの値は灌流中も殆んど変動なく推移した。しかし、灌流終了後の室内空気吸入時ではI群 105.6 ± 20.7 、II群 152.0 ± 43.0 、III群 135.0 ± 76.0 、とI群が灌流中の値を維持したのに対し、II、III群では上昇し、I群とII群との間に有意差を認めた ($P<0.05$) (Fig. 8)。

これは体内に貯溜された血液が再び全身循環に還流された結果と考えられる。

6) 平均肺動脈圧の変動

灌流前室内空気吸入時の平均肺動脈圧を100とすると、灌流30分ではI群 139.7 ± 28.8 、II群 60.3 ± 21.7 、III群 59.6 ± 22.2 、とI群が著しく上昇したのに対し、IIおよびIII群では低下し、I群とIIおよびIII群の間に有意差を認めた ($P<0.05$)。その後、灌流中はいずれの群もほぼ同値で経過した。灌流後の室内空気吸入時にはI群はほぼ灌流中の値を維持したのに対し、IIおよびIII群では灌流中よりも上昇し、I群 142.3 ± 34.3 、

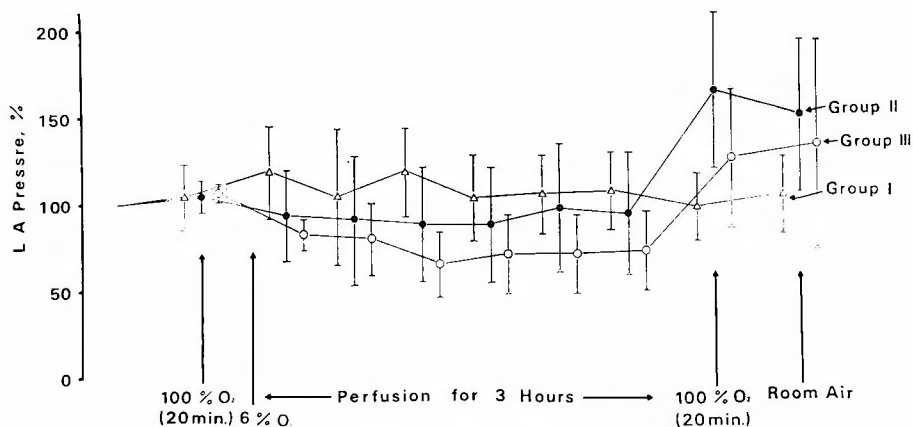


Fig. 8 During perfusion, the left atrial pressure was the highest in Group I with a statistically significant difference when compared with Group III. Immediately after perfusion, it increased in Groups II and III, suggesting blood pooling in the whole body.

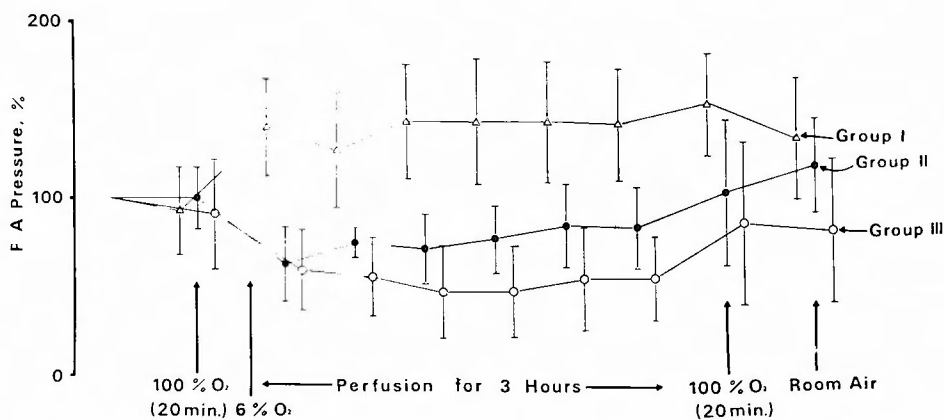


Fig. 9 In Group I, the mean pulmonary pressure rose markedly during and after perfusion, while in Groups II and III, it fell considerably during the first half of the perfusion with a subsequent gradual increase. There were statistically significant differences ($p<0.05$) between Groups I and III during perfusion, and between Groups I and II after perfusion.

II群 118.5 ± 26.4 , III群 82.4 ± 40.2 , となり, I群と
III群の間に有意差を認めた ($P < 0.05$) (Fig. 9).

すなわち, 肺負荷の軽減はIII群が最も大きく, I群は
むしろこれを増大した.

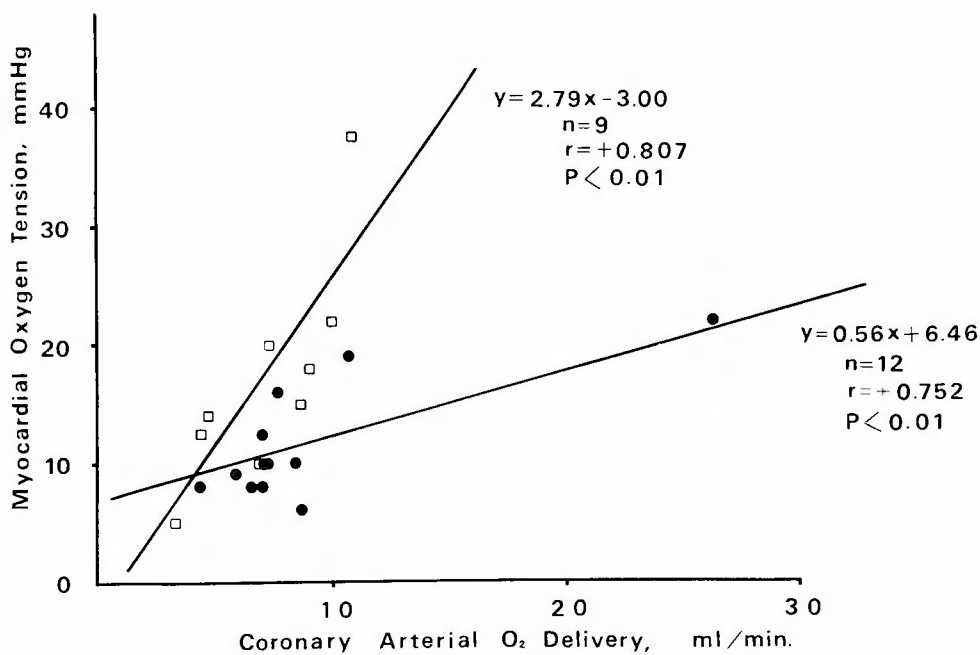


Fig. 10 This graph shows a significant correlation between the myocardial oxygen tension and the coronary arterial oxygen delivery.

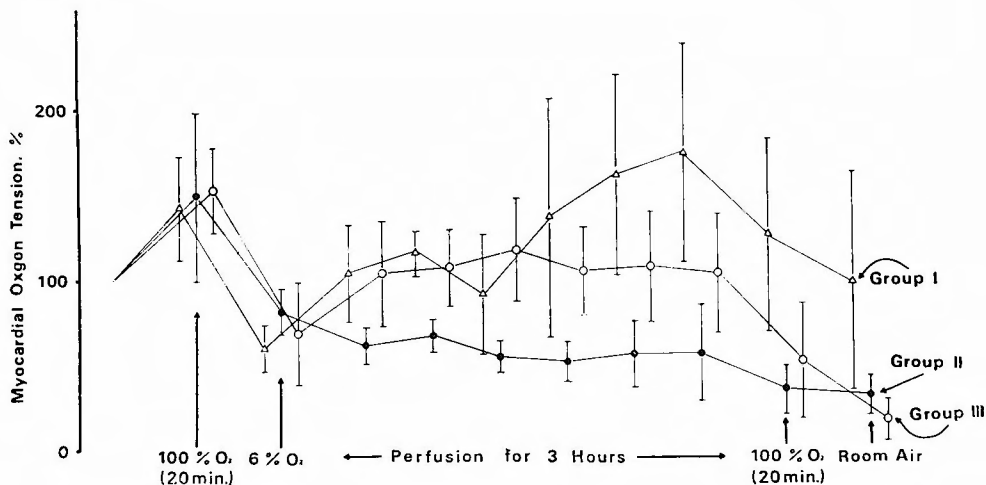


Fig. 11 In Group I, the left ventricular myocardial oxygen tension rose gradually during perfusion and fell considerably after perfusion, but not as low as the pre-perfusion value. In Group II, during perfusion the tension fell markedly below the pre-perfusion level with statistically significant differences ($p < 0.01$) when compared with the other two groups. In Group III it remained at approximately the preperfusion level during the entire perfusion. After perfusion, there were statistically significant differences between Group I and the other two groups.

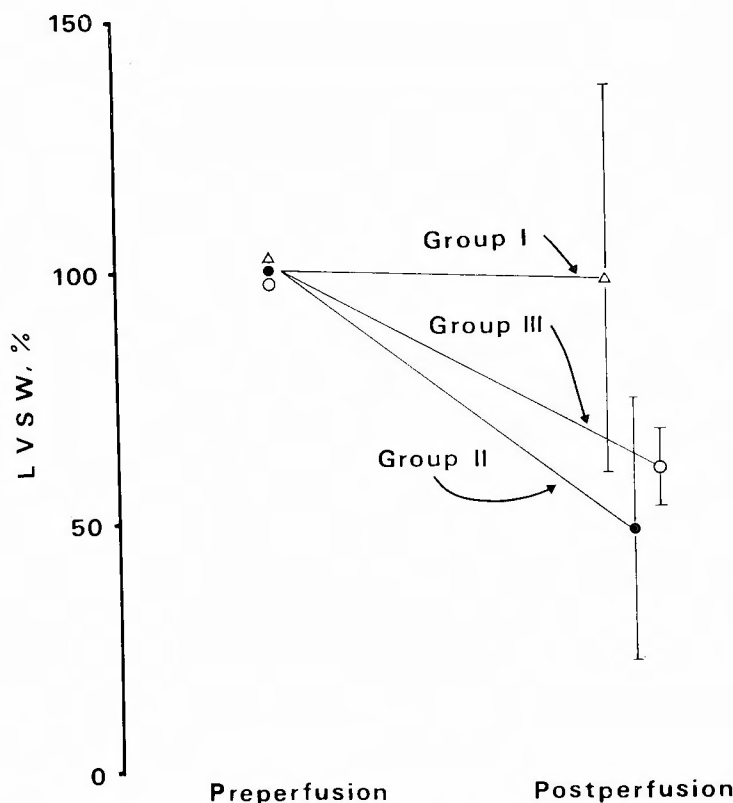


Fig. 12 After perfusion, the left ventricular stroke work (LVS.W) measured nearly the same as the pre-perfusion level in Group I, but decreased markedly in both Groups II and III. There was significant difference between Group I and II ($p < 0.05$).

7) 左室心筋酸素分圧の変動

あらかじめ2頭の健常犬に対し、冠静脈洞に経右房的にカニューレを挿入し、直接冠血流量を測定し、これに冠動脈血酸素含有量を乗じ、冠動脈血の酸素供給量を算出し、ポラログラフィーにより測定した心筋酸素分圧との関係を検討した。Fig. 10に示す如く、時を換えて、同一個体で、同一部位(左室前壁)で測定した心筋酸素分圧と冠動脈酸素供給量の間には正の相関が認められた($P < 0.01$)。このことより、心筋酸素分圧は心筋酸素供給量の指標となり得ると判断した。

灌流前の室内空気吸入時の心筋酸素分圧を100とすると、混合ガス吸入時は、I群 60.4 ± 13.3 、II群 81.5 ± 15.2 、III群 67.8 ± 29.7 であったが、灌流30分ではI群 104.1 ± 28.1 、II群 61.0 ± 10.5 、III群 103.6 ± 31.2 、とIおよびIII群は灌流前値を維持したのに対し、II群は著しく低下した。60分ではI群 116.5 ± 13.1 、II群 66.7 ± 9.8 、III群 108.8 ± 22.5 、となりII群が、Iおよ

びIII群よりも有意に低値となった($P < 0.01$)。その後も、灌流中はIおよびIII群は灌流前よりも高値を維持したのに対し、II群は低値で経過した。灌流直後では、I群は灌流90分までの値を維持したのに対し、IIおよびIII群はそれよりも低下した。純酸素吸入時にはI群がIIおよびIII群よりも有意に高値であった($P < 0.05$) (Fig. 11)。

すなわち、冠動脈心筋酸素供給より見ればV-VはV-Aより遙かに優れていた。

8) 左室1回仕事量

灌流前値を100とすると、左室仕事量は灌流終了後の室内空気吸入時では、I群 97.3 ± 38.1 、II群 47.7 ± 25.6 、III群 66.3 ± 7.4 、となり、I群がII群よりも有意に高値となった。III群と他のいずれの群との間には有意差がなかった (Fig. 12)。

灌流終了後の左室機能はV-Vの方がV-Aより優れていた。

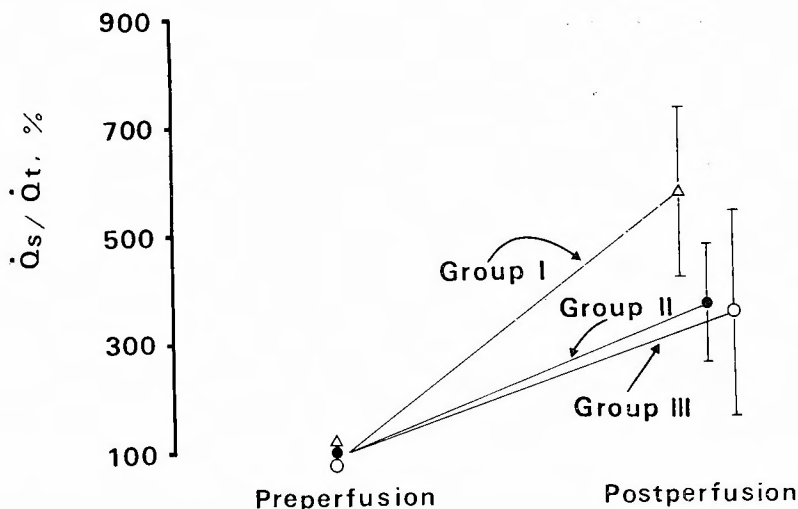


Fig. 13 After perfusion, the intrapulmonary shunt ($\dot{Q}_s/\dot{Q}_t$) increased markedly in Group I, less in Groups II and III. There was a statistically significant difference ($p < 0.05$) between Group I and II.

9) 肺内シャント率

灌流前を100とすると、灌流終了時にはI群 574.5 ± 154.6 、II群 360.6 ± 112.8 、III群 353.1 ± 189.9 、と各群とも補助循環により著しく上昇したが、特にI群が最も高く、I群とII群との間に有意差を認めた ($P < 0.05$) (Fig. 13)。

考 案

呼吸不全に対し補助循環を行う場合の問題点として、1) 人工肺の種類、2) 灌流方法、3) 灌流量、4) 出血傾向がある。これらのうち、1) および 4) に関しては従来より実験的および臨床的に研究がなされ⁸⁾¹⁵⁾¹⁶⁾、ある程度解決されたが、残された大きな問題は灌流方法と流量である。Hill⁹⁾らの臨床成績の報告によれば、生存率は必ずしも良好でなく、これは補助循環を受けた患者の中には不可逆性肺疾患をもった者が多いことにもよるが、心不全で死亡した患者も少なからず存在した。すなわち、患者の選択とともに、灌流中の適正な循環動態の維持が生存率を高める鍵となるものと思われる。灌流方法には大別して3通りある。すなわち、動脈—静脈灌流、静脈—動脈灌流、静脈—静脈灌流である。動脈—静脈灌流は血液に酸素を付加する目的からすれば効率が悪く、送血ポンプを必要としない利点はあるが、心臓に負担がかかる欠点がある。したがって、実地上応用の価値はない。

静脈—動脈灌流は静脈血の吸引効果により静脈圧低

下、右心系の圧低下、右室容積の減少、肺うっ血の改善、右室仕事量の減少をもたらす、明らかに右心補助効果を示し¹³⁾¹⁴⁾、酸素付加率も良好である。しかし、流量が増えれば心拍出量が減少し、脈圧が減少するため、組織灌流が障害され¹¹⁾、逆に、流量が減少すれば、左室がポンプ圧に対抗して働き、その上、大腿動脈よりの送血では、生体の血流と逆行するので、冠動脈に達し難くなる。このため、呼吸不全では冠動脈は低酸素の動脈血で栄養されることになるので、不全心はもちろん、正常心でも、灌流時間が長引けば、心機能が低下する¹³⁾。著者らは酸素付加血が可及的に冠動脈に達するように Esato³⁾らおよび Zapol¹⁷⁾らに準じ、動脈送血管が大動脈弓に達するように、頸動脈より挿入した。要するに、静脈—動脈灌流は右心系の負担を軽減するが、高流量では組織灌流が障害され、低流量では心機能が悪化するという長所と短所を有している。

静脈—静脈灌流は酸素付加効率も良好で、心機能に与える影響も少なく、冠動脈は酸素付加血液で灌流されるが、肺血流量が増加し、しかも充分な灌流量を得ることが困難で、広汎な肺塞栓が呼吸不全の原因である時には、かえって有害である¹⁰⁾。Eberhart²⁾らによれば灌流量が増加するにつれて、肺血流量は静脈—静脈灌流では増加するのに対し、静脈—動脈灌流ではかえって減少した。著者の実験でも、同様の結果が得られた。したがって、肺そのものの疾患により生じた呼吸不全を改善せしめるには、静脈—静脈灌流は不適当

である。しかし、Hill らはかつては肺血流量 ひいては、肺動脈圧を低下せしめることが肺疾患の回復に好都合であると考えていたが、その後、肺動脈血酸素飽和度を70%以上、肺動脈圧を20~30mmHg に保つのが有利であると結論した⁹⁾。

Connolly¹⁾ らは左心不全に対する補助循環として静脈—動脈灌流を行い、大動脈根部の血圧が上昇するので、冠血流量が増加し、心筋保護に有効であったと報告しているが、呼吸不全を対象とした著者の実験では逆に左室心筋の酸素分圧は、静脈—静脈灌流の方が良好であった。

如何なる灌流法を用いるにせよ、心拍出量がある限り、冠動脈血流はほとんどこれに依存するので、この血液の酸素飽和度が高ければ高い程心筋に対して有利である。したがって、静脈—動脈灌流では心拍出量がなくなる程の高流量で灌流すれば、この目的は最大限に果されるがその反面、肺に対する負担は軽減するものの体循環動態の破綻が最も著しくなる。それ故、Eberhart²⁾ らの提唱する如く、静脈—動脈灌流を主とし、静脈—静脈灌流を従とした混合灌流法を考慮すべきであろう。

結 語

低酸素混合ガス吸入による低酸素血症犬に対する静脈—静脈灌流は、右心に対する負担を増大し、肺内シャント率を著しく増加させる反面、静脈—動脈灌流に比較して、体循環に対する影響は少く、冠動脈血酸素供給は良好であるので、灌流終了後の左室機能は良好に保たれる。また、静脈—動脈灌流ではポンプ流量が大きくなるに従い、肺循環に対する負荷は軽減されるが、体循環の破綻が著しくなる。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜った恩師八牧力雄教授に深甚なる謝意を表すとともに、直接御指導をいただいた江里健輔助教授に深謝する。また常時御協力をいただいた医局員一同、藤本弘士技官に感謝の意を表す。

なお、本論文の要旨は第30回日本胸部外科学会（東京、1977）で報告した。

参 考 文 献

- 1) Connolly JE et al: The effect of veno-arterial bypass on coronary blood flow. *Arch Surg* 18: 58-60, 1960.
- 2) Eberhart RC et al: Hemodynamic aspect of prolonged extracorporeal oxygenation. *Trans*

- Amer Soc Artif Int Organs 20: 491-497, 1974.
- 3) Esato K et al: Distribution of oxygenated blood in experimental perfusion via the femoral and carotid arteries. *J Thorac & Cardiovasc Surg* 69: 467-471, 1975.
- 4) Freund U et al: Oxygen transport during extracorporeal oxygenation for the treatment of adult respiratory distress syndrom. *Surg Gynec & Obstet* 143: 709-716, 1976.
- 5) Hakanson CM et al: Long-term venovenous perfusion. *Surg Forum* 18: 148-150, 1967.
- 6) Hill JE et al: Clinical cardiopulmonary dynamics during prolonged extracorporeal circulation for acute respiratory insufficiency. *Trans Amer Soc Artif Int Organs* 17: 355-359, 1971.
- 7) Hill JD et al: Acute respiratory insufficiency; Treatment with prolonged extracorporeal oxygenation. *J Thorac & Cardiovasc Surg* 64: 551-562, 1972.
- 8) Hill JD et al: A simple method of heparin management during prolonged extracorporeal circulation. *Ann Thorac Surg* 17: 129-134, 1974.
- 9) Hill JD et al: Prognostic factors in the treatment of acute respiratory insufficiency with long-term extracorporeal oxygenation. *J Thorac & Cardiovasc Surg* 68: 905-917, 1974.
- 10) 角 隆一: 急性呼吸不全に対する膜型人工肺 (Landé-Edwards) による補助循環の効果に関する実験的研究. *日外宝* 45: 123-133, 1976.
- 11) 久保克行: 体外循環. *胸部外科* 28: 238-244, 1975.
- 12) 中山富太: 急性呼吸不全に対する膜型人工肺 (Landé-Edwards) による長期補助循環の実験的研究. *日外宝* 47: 182-198, 1978.
- 13) Salisbury PF: Comparison of two types of mechanical assistance in experimental heart failure. *Circulation Res* 8: 431-439, 1960.
- 14) 田辺達三: 補助循環の研究に関する総括的展望. *臨床外科* 23: 223-229, 1968.
- 15) Wright ES et al: Plasma protein denaturation in extracorporeal circulation. *J Thorac & Cardiovasc Surg* 14: 550-556, 1962.
- 16) Zapol WM et al: Clinical membrane lung support for acute respiratory insufficiency. *Trans Amer Soc Artif Int Organs* 18: 553-562, 1972.
- 17) Zapol WM et al: Extracorporeal perfusion for acute respiratory failure. *J Thorac & Cardiovasc Surg* 69: 439-449, 1975.