

人工心肺および直視下心臓内手術

東京大学胸部外科教授

三 枝 正 裕

現在では心臓の手術といえば、人工心肺あるいは低体温法を使用する直視下開心手術がその大部分をしめ、開心しないにしても、冠状動脈に対する直達手術や胸部大動脈の手術はいうまでもなく、場合によっては収縮性心膜炎に対する心膜切除術や先天性青色症に対する短絡手術などにも人工心肺が使用されている。

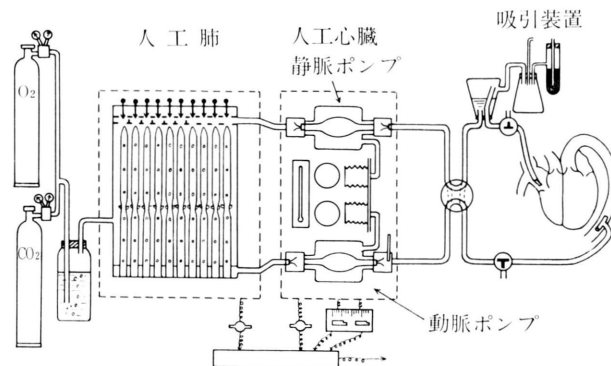
このように人工心肺は、今日では心臓大血管外科における日常の装置として、きわめて平易に使用されている。しかしながら、歴史的にふりかえてみれば、初期の頃は人工心肺による体外循環の成功は心臓外科医の夢であり理想であって、これが動物実験の段階を経て臨床にとり入れられるまでには、先人の絶大な苦心と努力とが積み重ねられてきた。本稿ではその初期の状況を紹介することが、むしろ意義深いことと考えるので、初期の10年間に重点をおいて述べることにする。

初期の10年間の状況（昭和27年—昭和36年）

わが国ではじめて人工心肺の研究をはじめたのは名大戸田（以下敬称略）である。昭和27年、第52回日本外科学会総会で、戸田、木本は宿題報告「血管外科」を担当したが、戸田はそのなかで、人工心肺についての報告を行った。なお、このときには、木本、榊原は動脈管開存症、Fallot 四徴症、肺動脈狭窄症などの臨床手術例について報告し、わが国の心臓外科史上まことに特筆すべき総会であった。

この戸田の報告は、人工心肺に関するわが国最初のものであり、記念すべき報告であるので、日本外科学会雑誌第52回より、その部分をここに紹介することとする（図1）。

図1 戸田らの人工心肺



XI. 人工心肺（戸田、福慶、弥政、高木、阿久津、北、高橋、木俣）

人工心肺は、心臓を虚血状態とし、之に外科的侵襲を加える為に、一時心肺機能を代行する装置である。1937年 Gibbon が初めてこの装置を製作し、欧米では、既に数例人体使

用例を報告しているが、本邦に於て此種の研究は、全く行われていない。私達の教室では、昨年来本装置の製作に従事し、漸くその完成を見、之による動物実験を行ったので、その概要を述べる。

1. 装置の構造

a. ポンプ 現在最も多く用いられている型は、水圧を利用する Dale Schuster 型のもとの DeBakey の弁を不要とするローラー型廻転ポンプである。私達は Dale Schuster 型を改良し、圧力はピストンによらず、蛇腹を利用した。透明なウイニール製の搏出囊と、プラスチックの部屋に封入されたウイニールの2枚弁を有し、流量変化は、蛇腹の伸縮の速さ、その先端につくレバーの偏心、及びレバー下端の支点の位置によって調節する。

b. 酸化装置 之には多種多様の型があるが、結局血液を薄いフィルムとして、之を酸素と接触させる事によって酸化する方法が最も応用されている。私達も此の方法を用いて2種類の酸化装置を製作した。

第1型は、Dennis 等の酸化装置を改良したものであるが、高さ21cm、直径17cmか27.5cmの7つの同心の金属円筒を垂直に廻転させ、此の内面にフィルムを作らせるのである。下方から各円筒の間に開口する酸素パイプには、ウイニールをかぶせた。

第2型は、私達の独自の考えによって作ったものであるが、先端円錐状の長さ40cm、直径1.6cmの30本の金属柱を主体とし、装置上部の部屋には15コずつ2列の梅の花状の穴を有し、金属柱を下から挿入すると、間に8つの狭い裂隙を生じ、血液はここを通過して各柱の表面でフィルムを作りつつ落下する。なお酸化を充分にする為、柱の中程に小さな貯溜槽及び第2の裂隙を設け、血液の混和を計っている。酸素は、2列の金属柱に向って、それを狭むプラスチック板の上にあけられた沢山の小孔から噴出させる様にした。

c. 附属装置

i) 装置内血液の冷却を防止する為、ポンプと酸化装置をケースに入れて、電球によってケース内温度が39°Cに維持される様にサーモスタットを取付けた。循環血液の温度は、動脈ポンプの生体側弁の中に温度計を挿入して測定した。

ii) 酸化装置に送るガス量は、 O_2 CO_2 20 : 1にする為にパイプの途中に流量測定用の絞りを入れた。

iii) 39°Cのケース内にある酸化装置内血液フィルムの水分脱失を防ぐ為に、 O_2 及び CO_2 に水蒸気を飽和させた。

iv) ポンプによって静脈血を急激に吸引すると、血管壁がカニューレに強く吸いつけられる危険があるので、水流ポンプによる陰圧を利用して、持続的に且つ緩徐に吸引する装置を設けた。

v) 酸化装置上部には、泡沫形成及び渦流を防止する為、貯血槽を設けてあるが、ここは酸化装置の円筒乃至金属柱の使用範囲を流量に応じて調節できる様に、工夫してある。

vi) カニューレは、挿入部位によって、種々工夫されているが、私達は、左心房、上下大静脈用のものを作製した。

vii) 連結パイプはすべてウイニールを用いた。

2. 装置の機能

a. ポンプ

各ポンプの最高流量は、夫々1分間 2.5 l 及び 2.8 l であるから、最も多く使用される

10kg 前後の犬の循環血液量に対しては充分である。

b. 酸化装置

i) 流量、之も最高流量は、夫々1分間 2.0 l 及び 1.5 l であるから充分である。

ii) 酸化度はヴァンスライク法によって測定したが、夫々79.7%及び83.3%で、之は基礎実験の値である為、条件が悪いので低目にてているが、後述の如く実際には充分であった。

3. 実験方法

a) 準備：酸化装置の脱脂には、5%のセスキ炭酸ソーダを用い、装置の滅菌は、5%のホルマリンによって行う。実験直前に、他犬より 1.3 l 前後の血液を採取し、之を以て装置を充し、数分間予備循環を行う。

b) 手術、麻酔は気管内麻酔を行ったが、大部分のものにクラールを併用した。抗凝固剤としてはヘパリンを使用し、その中和剤としてトルイジンブルーを使用した。

i) 人工心臓のみ使用せる実験：左側開胸により、胸部大動脈及び左心耳より左心房に夫々カニューレを挿入して、吸引及びポンプの作動を開始する。体外循環が円滑に行われるのを認めてから、心尖部に於て左心室を切開し、残っている血液を吸引すると、殆ど虚血状態となった左心室腔及び僧帽弁を観察する事ができた。暫く放置して縫合閉鎖し、カニューレを抜去、大動脈の吻合を行って閉胸した。

ii) 人工心肺使用による実験：腹部大動脈を後腹膜外に遊離してカニューレを挿入してから、右側開胸を行い、右心房より下大静脈に、右縦胸静脈より上大静脈に夫々カニューレを挿入した。そこで図の如く上下大静脈をカニューレに対して緊迫すると初めて心臓に戻る血液は完全に吸引されるので、右心室を切開した場合、心室内及び房室弁の観察は左心室に於けるよりも容易である。心室壁縫後、上下大静脈、大動脈の順にカニューレを抜き、閉胸と腹部大動脈の吻合を同時に行いました。

4. 実験成績

我々は、体重 5.5kg から 8.0kg 迄の犬を用い、人工心臓のみを使用せる2例と、人工心肺を使用せる8例の計10例に実験を行った。灌流時間は、5分から43分で、左右各々1例に心室切開を試みた。以上の実験中に、血液の検査を行ったが、先づ、動脈血 O₂ 飽和度は何れも90%以上で、1例を示すと、No. 9に於ては、98.1%から98.7%であるから酸化装置の酸化は充分である。溶血度は、灌流開始後30分で83.5mg %で Gilligan によれば尿中に Hb を認める最低限度は 135mg %であるから、此の程度の溶血では問題にならず、pH の値は、灌流中7.12と7.42の間にあり、終始生理的範囲内に維持する事が出来た。赤血球数及び Hb 値は、意味のある変化を示さず、白血球数は全例に於て減少を示し、最初の10分以内に激減し、次の20~30分間に徐々に減少しておる。血糖値は、麻酔及び開胸時に急速に増加したが、灌流開始と共に減少し、灌流中は大体 100~150mg %の間を動揺している。血圧は、カニューレ挿入により著明に下降し、ポンプ始動直前は、20~30mmHg 迄下降す。始動と同時に急速に上昇を来すが、術前値迄は至らず80~100 mmHg に留り、正常循環再開と共に速かに術前値に戻る。

さて人工心肺装置の使用に当って先づ考慮せねばならぬ問題は酸化装置の酸化度、pH 溶血、凝血、泡沫形成であるが、上述の如く我々の装置に於ては概ね満足すべき成績を示しておる。唯泡沫形成の点に関しては、更に検討を要するものと思われる。死因として我

々の例では技術的エラー、フィラリアによる弁の閉塞、出血、ショック等があげられる。尚カニューレ挿入法は成績に大きな関係を有し、殊にポンプの性能に制限をうけて、動脈側カニューレの挿入部位として大動脈を選ばざるを得なかった為、手術的時間の延長と手術侵襲の過大を来した事は、最も改良の必要を痛感する点である。又吸引側カニューレの挿入法も種々考えられるが、此の点についての我々のカニューレ及びその挿入法は、略々満足すべきものと思われる。

小 括

我々は人工心肺の製作を試み、之による動物実験を行った。そして体外循環によって一時心肺機能を代行し、殆ど虚血状態となった心室を確める事ができた。然し乍ら更に装置の改良と共に本装置使用に俟つ多くの問題を解決して行かねばならない。幸にして皆様方の御協力により、近い将来本邦に於ても此の方面の研究が盛になる事を期待し且つ念願するものである。本装置は遠藤貞一理学士、並に服部益也工学士の昼夜を分たぬ御協力によって完成したものである事を附言し、茲に深甚の謝意を表する次第である。(日外会誌 52: 651, 昭27年12月)

これにひきつづいて福慶(名大)、井上雄(慶大)、榊原・織畑(東京女子医大)、卜部、林(東大)らによって人工心肺の研究が始められ、種々の形の人工心肺が試作され動物実験が行われた。日本胸部外科学会総会における報告によってこの間の動向を追ってみると、第5回総会(昭和27年)には人工心肺に関する発表は戸田だけであり、その内容は外科学会宿題報告の延長であった。第6回総会(昭和28年)には福慶および井上の報告があり、福慶はこの発表でポンプをローラー型 **vanton pump** に変えており、井上は酸素加装置として素焼濾過管をポンプとして **DeBakey** 型ポンプを用いている。第7回総会(昭和29年)には福慶、井上および林の報告があるが、林は酸素加装置として回転円板型をポンプとしては **DeBakey** 型および **Dale-Shuster** 型を使用し、織畑、榊原は金属製の回転円筒型酸素加装置、イルリガートル式気泡型酸素加装置を使用し、動物実験の成績は次第に向上を示したが、まだ臨床応用の段階にはいたらなかった。

昭和30年1月、木本は浅野の考案による選択的脳灌流冷却法により心房中隔欠損の閉鎖手術に成功し、これとほとんど時を同じくして榊原は頭部冷却を加えた全身低体温法を用いて心房中隔欠損の閉鎖手術に成功した。この詳細は同年春の第14回日本医学会総会において発表され、これに刺激されてわが国の各施設でこれらの方法を用いた直視下開心術が積極的に行われるようになった。

第8回日胸外総会(昭和28年)の一般演題には、人工心肺、体外循環に関するものは、卜部、福慶、林、井上、曲直部の5報告、低体温法、脳灌流冷却法に関するものは、阿久津、小沢、田口、三枝の4報告があり、さらに榊原、木本によって招請演説「心臓直視下手術の基礎と臨床」が行われた。榊原はこのなかで、頭部冷却法による **ASD** 6例、**VSD** 3例、**PS** 3例、**Fallot** 四徴症2例(いずれも肺動脈狭窄除去手術のみ)の14例と心臓鏡による3例(**ASD** 1例、**VSD** 2例)の直視下心臓内手術の経験を報告、木本は脳灌流冷却法による **ASD** 6例、**VSD** 1例、**PS** 1例、**ECD** 1例、**Fallot** 四徴症5例、僧帽弁脱症2例の16例の手術経験を報告するとともに回転円板型人工心肺による手術例5例(死亡5例)の経験を報告し、わが国における人工心肺の実用化も近いことを示した。また同年11月、木本は冠状動脈灌流法を併用した脳灌流冷却法によって **Fallot** 四徴症根治手術に成功した。

昭和31年のはじめ、*Diseases of the Chest* Vol. 29: Jan. 1956, に発表された C.W. Lillehei らの“Direct Vision Intracardiac Surgery in Man Using a Simple, Disposable Artificial Oxygenator”

はわが国の人工心肺研究者に大きな衝撃を与えた。

それまでも人工心肺による臨床手術の成功例は、1953年 Gibbon, 1954年 Crafoord, 1955年 Kirklin らによって報告されていたが、その使用した酸素加装置はスクリーン型 (Gibbon, Kirklin) あるいは回転円板型 (Crafoord) で、複雑で大規模なものであり価格も数千ドルするものであった。わが国の研究者もこれらの装置や原理を参考にして種々の形の装置を試作していたのであるが、Lillehei によって発表された装置は、材料がビニール管を主体としたきわめて簡単な、安価 (5ドル以下) なものでありながら、非常な高性能を持ち、Lillehei はこれを用いて VSD 5例、ASD 1例、Fallot 四徴症 1例に対して根治手術を行い、死亡例は VSD の1例のみであるとした。この報告をみたわが国の人工心肺研究者は驚くとともに、その多くがこの原理をとり入れた装置の試作、実験を開始した。

昭和31年4月第56回日本外科学会総会において曲直部は Lillehei-DeWall 型酸素加装置および Sigma motor を用いて2例の Fallot 四徴症に対する根治手術成功例を発表した。この報告はわが国最初の人工心肺による直視下心臓内手術成功の報告であり、さきの戸田の報告と同じくわが国の人工心肺史上特筆すべき報告であるので、日本外科学会雑誌第59回よりその全文を引用することとする。

120. 脳冠灌流法による直視下心臓内手術の臨床経験、並びに人工心肺による直視下心臓内手術の成功例

大阪大学第一外科

曲直部寿夫, 藤本 淳, 星田 嘉朗, 佐藤 安正, 森永 堯, 国枝 亮
篠 憲二, 久武 昌一, 芝 卓弥, 安藤 一, 田中 陽造, 豊田 裕三
西山 実, 位藤 昇三, 岡部 安生, 玉置 博, 田中 衛, 一宮 源太
小林 芳夫, 沢田 知, 清水 宏, 田辺 玄三, 伊藤昭一郎

大阪大学第三内科 高橋 義直

直視下心臓内手術は過去1年余りの間に目覚しい発達を遂げ、我々の教室に於ても、各種の方法による直視下手術の症例は現在迄21例を数えて居る。

従来直視下手術を施行するに当り、血流遮断時間の延長を計る為、主として低体温法が利用されて来たが、我々は多数の動物実験並に貴重な臨床経験より、低体温法下の直視下心臓内手術には或程度の限界を感じて来た。即ち本法は循環遮断時間の延長に関しては有効であるが、心臓内手術に於ては、常温下に比し、心臓は不利な状態 (心室細動等) に陥り易い事を知った。従って低体温のみの循環遮断に依る直視下手術よりも、出来るだけ何等かの方法により生体の循環を維持せしめつつ心臓内血流のみを遮断する事がより有利であるのは当然であろう。

茲に我々は人工心肺による完全体外循環の前段階として、先づ循環遮断に対して最も鋭敏な脳及び心臓 (冠循環) に対して血流を維持せんとして脳冠灌流法を取上げ昨年秋胸部外科学会に於て発表した。

その後木本教授は撰択の脳冷却に冠灌流を加える事により、フェロー氏四徴症の根治手術に成功し、引続き榊原教授は動脈ポンプ利用により後天性心疾患の直視下手術を行った。一方、欧米の文献も積極的に“流す”と云う方向に向って来ている。

扨、脳冠灌流法は既に発表した如く、一側の総頸動脈より約150cm 水柱の静的圧で動脈血を注入し、静脈血の脱血は同側の内頸静脈、股静脈より約15cm 水柱の陰圧で行つ

た。灌流量は毎分約 200～300cc である。尚、此の際、少量灌流のための対策として、直腸温を30℃前後の低体温にし、又、脳及び冠に有効に流すべく下行大動脈を遮断した。我々は斯る方法を Simple Gravity Perfusion Method と称して居るが、極めて簡便な部分的体外循環と考える。

斯る方法を応用して我々は12例に直視下手術を行った。全体的に見て生存率は50%であったが、死亡例を詳しく検討すると、死亡例中、心室細動発生し心搏を正常に復帰せしめ得なかったものは3例であって、之等は心臓の肥大拡張著しく、伝導障害を伴えるものであった。僧帽弁閉鎖不全症の1例は脳栓塞様症状で術後25日目に死亡し、心房中隔欠損及び心室中隔欠損の各1例は、心臓内操作中も心室細動発生せず確実に欠損を閉鎖し、術後意識の回復を見ながらヘパリン過量による後出血で死亡するという誠に惜しむべき症例であった。要するに手術そのものは12例中9例に成功したと云い得よう。

我々は脳及び冠の循環を維持しても低体温下では心室細動という極めて嫌な状態が発生し易く、救い得ない症例があることを経験した。一方、この脳冠灌流法により、体外循環の本質ともいふべき動脈血の送血及び静脈血の脱血のバランス、即ち組織内へ有効に血液を流す事が極めて重大な因子であることを知り、このバランスさえ保たれて居れば、動脈血の続く限り、本法のみにて20～30分の直視下手術は安全に行える事を知り得た。

斯る点より常温下人工心肺による体外循環を鋭意研究して来たが、脳冠灌流法に依って得られた送血及び脱血の要領を基礎とし、多数の動物実験の結果、後療法を厳重に行えば動物はよく生存し得るといふ確信を得た。

依て我々は4月18日、ファロー氏四徴症に対して人工心肺に依る根治手術の第1例を行い、茲に人工心肺に依る成功例を初めて見る事が出来た。次いで4月25日、同じくファロー氏四徴症に対し第2例目の成功を収めた。以下症例並に手術の経過を報告する。

第1例は16歳男、心カテーテル検査の結果、非チアノーゼ性ファロー氏四徴症を示した。従って之を外科的治療の対象とすれば、肺動脈弁拡大と共に心室中隔欠損を閉鎖せねばならない事を知った。又第2例は6歳女児で定型的のファロー氏四徴症であった。

我々の人工心肺の酸化装置は Lillehei の考案した簡単な foam Oxygenator を一部改良し、泉工医科、青木氏の提供を受けたものである。ポンプはアメリカ製 Sigma motor である。体外循環装置の容量は約1000cc である。

手術方法は左第四肋間を開胸、小沢式 Basis-Klemme で血流遮断を行い、右室を切開、肺動脈弁狭窄を切開、心室中隔欠損部を縫合閉鎖した。此の際、大動脈弁を変型せざる様特に注意を払った。術中冠静脈よりの環流及び大動脈弁口よりの逆流血液の為視野のさまたげられた場合は上行大動脈を適宜緊縛した。

第1例はポンプの灌流時間45分、手術操作の為の血流遮断時間13分45秒、第2例は灌流時間25分40秒、遮断時間は9分20秒であった。第1例にては、解除後冠動脈空気栓塞による心搏の減弱を見たが、ノル・アドレナリンの心室内注入、同時に上行大動脈の緊縛に依り、よく栓塞を駆出する事が出来、その後、血圧、脈搏数は良好な状態に復帰した。第2例は斯る心搏の減弱を見る事なく、解除後も極めて良好な状態を維持した。又瞳孔の大きさも散大を来す事なく、略々正常の大きさであった。ポンプの流量は第1例平均900cc/分、第2例平均800cc/分であった。又第1例の術前、術中、術後の血液所見の推移は代謝面に於ける変動も極めて軽微であり、血漿ヘモグロビン量も最高59mg/dl という程度であった。

術中心電図所見も低体温に見られる如き異常所見は少なかった。

要するに低体温下遮断による直視下手術に比し、人工心肺に依れば、すべての生体機能は遙かに正常に近い状態を維持し得るものであり、又直接心臓内を操作するにしても、低体温法利用に比し、何時発生するかも知れぬ心室細動を何ら顧慮する事なく、余裕を以て確実な操作を行い得た。

以上、我々が人工心肺利用直視下心臓内手術成功への一段階とし、基礎となった脳冠灌流法による直視下手術の概略を説明し、人工心肺による本邦最初の成功2例を報告した。

茲に小沢教授の撓まざる御指導により、人工心肺の成功を見、心臓外科に一段の進歩を加え得た事を心から喜ぶものである。(日外会誌第57回：828, 昭31年8月)

これを契機としてわが国における人工心肺は急速にその臨床応用の時代にはいった。

第9回日胸外総会(昭和31年)には人工心肺、体外循環に関して5題の発表があり、井上は臨床4例、曲直部は14例、榊原は19例の手術症例を報告したが、榊原は30℃前後の全身低体温法と人工心肺による10分間の体外循環とをくみ合わせて直視下手術を行っている。また木本は会長演説のなかで人工心肺による手術症例6例について報告した。このほか低体温法に関する2題の演題(阿久津、岡村)があり、岡村は動物実験においてエーテル麻醉下20℃以下の超低体温で1～2時間の血流遮断が可能であることを報告し、目をひいた。

このほか直視下心臓内手術に関係して KCl 液やアセチルコリンによる心動停止法、人為的心室細動法、なども報告された。

第10回日胸外総会(昭和32年)ではシンポジウム「直視下心臓内手術の基礎と臨床」が行われ、司会：小沢、演者：木本、榊原、織畑、福慶、本多、井上、渡辺、八牧、富田、阿久根、砂田、岡田、曲直部のメンバーでシンポジウム「直視下心臓内手術の基礎と臨床」が行われ、人工心肺、低体温法、超低体温法、脳灌流冷却法、人為心室細動法、人為心動停止法など、当時のこの領域の全貌が紹介されたが、このなかで織畑は低体温法を併用した人工心肺により80例に手術を行い死亡19例という成績を発表している。

その後の胸部外科学会総会においては、人工心肺、体外循環、低体温法をはじめ直視下心臓内手術およびその補助手段に関する報告は回を重ねるにしたがって増加しているの、いちいちこれに触れる煩を避け、主要な動向についてのみ述べることにする。

第12回日胸外総会(昭和34年)特別講演「人工心肺の現況」において砂田は本邦24施設における人工心肺による開心術の状況を調査し、表1の現況を示した。また欧米各国の48施設に対してもア

表1 人工心肺の現況(本邦)(昭和34年, 砂田)

施設名	型	流量(cc/kg/min)	例数	備考
東京女子医大	気泡型	20～40	219	低体温併用
阪大第1外科	〃	60～100	48	
東大木本外科	〃	50～170	43	
慶大外科	〃	37～70	7	
東京医大	〃	80～100	3	
札幌医大	〃	40～60	3	
名大橋本外科	回転円板型	50	2	
岡大砂田外科	気泡型	60～90	6	

ンケート調査を行った結果、日本では大部分の施設で気泡型人工心肺が使用されていて流量も比較的少ないのに比して、欧米ではスクリーン型、回転円板型が大部分をしめ流量も大流量が使用されていることを指摘している。

昭和35年前後からわが国の各施設において、従来最も多く使用されてきた Lillehei-DeWall 型人工心肺装置にかえて、各種の外国製品を購入し使用する傾向がめだってきた。これは従来の装置では30～40分間以上の体外循環を行った場合の成績が不良であり、ASD や VSD など比較的軽症例に対してはともかくとして、Fallot 四徴症、肺高血圧を伴う VSD、ECD、後天性弁膜症などの複雑なあるいは重症な症例に対する手術成績を向上させるためのひとつの打開策とも考えられた。これを反映して第14回日胸外総会（昭和36年）のシンポジウム「体外循環」（司会、井上雄）では、Lillehei-DeWall 気泡型—慶大外科、阪大第一外科、金属製気泡型—札大外科、Stainless-steel 製—広島市民病院、岩手大光野外科、回転円板型（国産、扁心型）—名大橋本外科、気泡型および遠心式回転円板型—東京女子医大、Kay-Cross 回転円板型—東大木本外科、Melrose 回転円板型—東京医大、Kay-Anderson スクリーン型—岡大砂田外科、Mayo-Gibbon スクリーン型—東北大桂外科などの使用状況が紹介された。また岡村らの「開心術に対する超低体温法の理論と実際」と題する、自律神経遮断剤投与、エーテル麻酔下、20℃以下の超低体温で最長47分の血流遮断下に行った72例の開心術についての報告は、この総会における最優秀研究として表彰されたが、これはさらに発展して世界に誇るべきわが国独自の業績として実を結んだ超低体温法研究の基礎となったものである。

その後の発展（昭和37年以降）

こののちわが国における直視下心臓内手術は、人工心肺あるいは低体温法、さらに両者の合併方法を用いて次第に安定した成績が得られるようになり、適応も拡大されて手術症例数はますます増加した。各施設における直視下心臓内手術症例数について、西村（昭和42年3月）、砂田（昭和45年6月）、和田（昭和51年6月）による調査の結果を表2に示すが、表1と比較すればこの間の情勢を

表2 本邦における直視下心臓内手術症例数

No.	調査者および調査年、月					
	西村（昭和42年8月）		砂田（昭和45年6月）		和田（昭和51年6月）	
	施設名	症例数	施設名	症例数	施設名	症例数
1	東女医大心研	2,205 (70)	東女医大心研	3,800	東女医大心研	5,893
2	札幌大胸部外科	1,594 (22)	札医大胸部外科	2,406	札医大胸部外科	3,442
3	東大胸部外科	893(112)	東大胸部外科	1,119	東北大胸部外科	1,945
4	広島市民病院	593(224)	久大第2外科	941	東大胸部外科	1,691
5	東北大第2外科	559(239)	新大第2外科	913	久大第2外科	1,587
6	榊原十全病院	526 (0)	榊原十全病院	850	天理よろづ病院	1,544
7	岩手医大第1外科	455(455)	岡大第2外科	736	榊原十全病院	1,484
8	岡山大第2外科	443 (2)	阪大第1外科	726	新大第2外科	1,377
9	阪大第1外科	435 (1)	東北大第2外科	626	九大心臓外科	1,327
10	京大第2外科	402 (0)	慶大外科	536	阪大第1外科	1,309
全国 総計	72 施設	14,375 (2,005)	105 施設	24,725	133 施設	61,310
備考	開心術の全症例（ ）は低体温法による症例数		人工心肺による開心術症例のみ		開心術の全症例	

知ることができよう。

前述のように昭和35年ころから酸素加装置として、回転円板型、スクリーン型、遠心型などの大型のものが用いられ、数時間に及ぶ体外循環も安全に行われるようになった。しかしながらこれとともに装置充填用を含めて大量の準備血液を要することとなり、10,000mlを越すことも少なくなく、ことに初期には装置充填にはすべて新鮮ヘパリン血が用いられたため、準備血液の入手が困難であったり、かなり高率の血清肝炎の発生をみたりした。これら体外循環用の血液には昭和38年ころから次第にACD保存血が使用されるようになり、さらに晶質液や膠質液を適宜混合する希釈法からすすんで最近では装置充填に血液を用いないのみならず、症例によっては、手術に際してまったく輸血を行わない無輸血体外循環開心術も行われている。

人工心肺による体外循環の初期には常温灌流が用いられたが、その後回路に熱交換器をくみいれて温度調節を行うようになり、一般には30°C前後の軽度灌流低体温がひらく使用されているが、これとともに循環完全遮断を目的とした20°C以下の超低体温法のための灌流冷却法、復温のための灌流加温法など、目的に応じた温度調節が適宜行われている。

酸素加装置としても、その後Zuhdiの方法に従って製作された小型気泡型装置により無血充填血液希釈低体温灌流法がしばらくの間用いられたが、いずれにしてもこれらの装置は手術のたびに組立てて消毒し、術後は分解洗浄しなければならない、その保守管理に手がかかるばかりでなく、緊急の場合に準備に時間を要し、血清肝炎発生予防の上からものぞましくないなどのことから、これらにかわってディスポーザブルのシート型気泡型酸素加装置がひろく使用されるようになり、さらに熱交換器を内臓した各種のディスポーザブル気泡型酸素加装置が普及して現在にいたっている。

一方ClowesやKolfによって考案製作された膜型酸素加装置は、溶血が少ないという利点を有しながらも酸素加効率の上から装置が大きく、組立てに面倒な上に破損しやすいなどの欠点をもつために実際には利用されなかったが、近年小型で効率のよいディスポーザブルの膜型酸素加装置が作られて開心術に用いられているほか、呼吸不全の治療のための長時間体外循環に応用されている。

ポンプについていえば、従来は無搏動式のローラー型ポンプがひろく使用され、一部には搏動式ポンプの利点を説くものもあったが、末梢動脈からのカニューレションによる動脈送血ではその意義はあまり大きくなかった。最近では動脈血送血は大部分が上行大動脈から行われているために、太いカニューレを使用することも可能であって搏動式ポンプの有利さがあらためて見直される傾向もみられている。

手術適応の拡大に伴ってその対象に応じて直視下心臓内手術のための手段を選択し、最も適した方法が用いられるようになった。複雑な先天性心疾患をもつ新生児乳児に対する手段として、前述の岡村らによる全身冷却超低体温はきわめて有力な方法として使用され、日笠らによる表面冷却法と人工心肺による体外循環とをたくみに組合わせた方法とともに新生児乳児に対する直視下心臓内手術の成績向上に大きく貢献した。また人工心肺からの酸素加血を数本の回路に分けて送血し冠循環、脳循環、体循環を別々に行ういわゆる分離体外循環によって胸部大動脈手術の成績も著しい向上をみた。一方、重症な弁膜疾患や冠状動脈疾患に対する手術の普及発展に伴って、心筋の肥大、虚血、硬塞などをもつ症例に対する体外循環法と心筋保護法とがあらためてとりあげられ検討されている。この意味で人工心肺の初期に使用された人為心動停止法や人為心室細動法に再検討が加えられ心臓の局所冷却法とともに異なった形で用いられはじめていることは興味深い。

このほか人工心肺による体外循環、表面冷却法、灌流低体温法、超低体温などの病態生理、術後

の生体に及ぼす影響などについての研究も数多くなされ、その動向も時代とともにいろいろの変遷を示しているが、これらについては紙数の関係上本稿では省略することとする。

以上、人工心肺に関する研究、直視下心臓内手術に関する研究およびその発展の状況をとくに初期の10年間に重点をおいて述べた。

今後この領域の研究がどのように進んでゆくかはまことに興味深い。人工心肺装置はより小型でしかも高性能のものとなって、心臓大血管の手術のための手段のみならず、心不全や心原性ショックあるいは呼吸機能不全などの治療によりひろくより平易に応用されることになろうし、またこれによって心臓・大血管の手術適応の拡大がはかれるであろう。現在とまったく異なる原理にもとづく装置が考案される可能性もあるし、病態生理、血液、薬剤などの研究の発展、さらに ME 機器やコンピューターのとりいれによって体外循環の方式そのものに変革が加えられることも考えられる。日本胸部外科学会が40周年を迎えたときのこの分野の発展を楽しみにして筆を擱くこととする。