

大動脈起始部直視下手術における 冠灌流の心電図学的研究

第 1 編

選択的脳灌流冷却法下冠灌流における心電図学的考察

岡山大学医学部第2外科教室（指導：前主任 津田誠次名誉教授）
現主任 砂田輝武教授

池 田 寿 真

〔昭和34年9月9日受稿〕

1. 緒 言

最近における心臓外科の発展は近代外科学の進歩のうち最も著しいもので、現在先天性ならびに後天性心疾患の多くは外科的に治療可能となつた。また手術方法も当初の盲目的操作から低体温法あるいは人工心肺を使用して心臓を開き直接目で見ながら病変部を完全に修復する直視下手術に漸次移行しつつあり、手術の安全性も向上し心臓外科はすでに普及の段階に入つたと云える。

低体温法、体外循環などによる直視下心内手術は、最初先天性心疾患に対する根治手術として発展してきたが、最近閉鎖術式では困難な複雑な後天性心疾患の根治手術にも漸次応用されるようになった。後天性心疾患の多くはリュウマチ性病変によるもので、最もしばしば僧帽弁が侵され、ついで大動脈弁が侵されることはよく知られている。心臓外科の発展は Bailey¹⁾ らによる僧帽弁狭窄の手術に始まるといつても過言でなく、僧帽弁疾患は狭窄の場合はもちろん閉鎖不全症に対してもある程度外科的療法は確立されているといえる。これに反して大動脈弁疾患の外科的治療は容易でなく、ことに閉鎖不全症に対してはまだ多くの解決しなければならない問題を残している。私が現在までに行つた病理解剖学的検索の経験によれば、大動脈弁弁膜症には非常に簡単な手術操作で成形が可能なものから完全な弁移植のみによつてその根治が可能なものまで種々の病変がある。しかもこれらの変化は外見上現われた臨床症状あるいは血行力学的検索によつてその病変の区別を予想することは困難である。したがつて僧帽弁狭窄における非直視下手術の場合のように安易な

考えで手術を行うことははなはだ危険であり、直視下心内手術において術中冠血流を維持することが有用なことはすでに認められている²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾、大動脈起始部を開放する際にこの冠血流をいかにして維持するかが問題となる。Pratt⁹⁾、Roberts¹⁰⁾、Beck¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾ らは冠静脈洞ないしは冠静脈からの酸素飽和血の逆灌流法が心機能保持に有効に作用するということを暗示し、Blanco¹⁵⁾ は冠静脈洞からの酸素加血の逆灌流が臨床応用可能であるということを立て、Lillehei¹⁶⁾ らは当灌流法について実験を行い、イヌでは逆灌流15～20分で心臓機能保持は可能であるとし、また一般に、人間においてはイヌにおけるより冠静脈の解剖学的構造が逆灌流を行う上において有利であるから、進んで臨床に応用し成功例を得ている¹⁶⁾¹⁷⁾。本邦においては和歌山大、岡田氏¹⁸⁾ 等の報告があり、冠血行保持時間は Lillehei らの報告より幾分長い。しかし大動脈弁々膜症の根治手術を行う際当灌流方法におけるような比較的短時間では満足な手術を行うことが出来ない場合もあるので、もつと長時間の心機能保持が可能な灌流方法が必要となつてくる。まえにのべた冠静脈洞逆灌流法は Lillehei 学派にしたがえば、一部の人間またイヌにおいては主として左側心筋を栄養するものであり右室心筋は栄養されず、そのため15～20分以上の冠血行保持例においては死の転帰をとる例が多い訳であるが、すべての冠静脈口から酸素加血を逆灌流すれば、全心筋の栄養はたもたれる訳である。この目的のため右心耳からカニューレを右心内に挿入し、カニューレの先端は右室ないし右房におき酸素加血の静圧下灌流を行えばよいわけで、Pratt は

ネコの摘出心臓を用いて類似の灌流を行い8時間余の心搏動例を観察している。この灌流方法における心機能保持時間は Pratt のシリーズを通じて最長のものであるが、我々は本灌流方法については未だ詳細な吟味を行う機会なく今日に至っている。

当教室では以前から左右冠動脈口から灌流管を左右の冠動脈に挿入して酸素加血の灌流を行うことが最も生理的でありまた長時間の冠血行保持が可能であろうと考え、まずこの灌流方法を冠動脈直接灌流法と命名して実験に着手したが、最近 Kay¹⁹⁾ 等は直接灌流を行い、大動脈弁狭窄症の直視下手術に成功している。

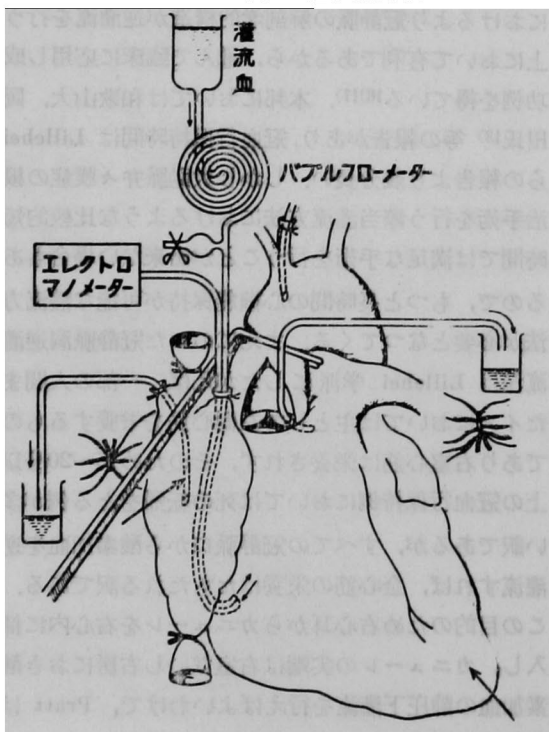
しかしこれらの方法にはなお不明な点も少なくないので、前記2つの灌流方法すなわち冠静脈洞逆灌流法ならびに冠動脈直接灌流法について、主として心電図学的に追究しながら一方において技術的改良の示標とし、また他方においては両方法の安全限界をしるべく研究を行つたので報告する。

2. 実験材料ならびに方法

1) 冠静脈洞逆灌流法

体重 14~18 kg の成犬18頭を用い、ネムブータル静脈内麻酔のもとに気管内挿管を行い、Heidbrink 型の気管内麻酔器に連結して、純酸素呼吸を行わせ、ヘパリン 3 mg/kg を投与したのち選択的脳冷却を行つた²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾。

図 1 冠静脈洞逆灌流方法



選択的脳冷却法の実施については、既に多くの報告があるのでその詳細については省略するが、冷却血の頸動脈流量は 6~9 cc/kg/Min. とし、冷却時間は35~45分で食道温が 31°C 内外となる様につとめた。所定の体温迄下降後は、頭部に氷枕をあてて脳温の急激な上昇を防いだ。

食道温が 34°C 内外において直ちに両側開胸を行い、以後は循環遮断まで補助呼吸を行つた。次にビニール・テープを上・下大静脈、両側肺門の周囲に通し、心嚢を縦に切開、両縁を胸壁に縫着し、露出した心臓は温かい食塩水ガーゼで覆つておく。次いで大動脈の剝離を行い、この周囲にビニール・テープを通した。

以上で循環遮断の準備は完了したが、次に右心耳にタバコ縫合を施し、心耳を切開して灌流管を冠静脈洞に挿入し、洞口附近において絹糸の縫合固定を行う。また奇静脈から右房内にポリエチレン・チューブを挿入し、逆灌流中 Thebesian vein を通じて右房にかえる血液を誘導するようにした。食道温が 31°C 前後迄下降すれば冷却を中止し、上記ビニール・テープにより、上・下大静脈、肺門部血管、大動脈（遮断は大動脈鉗子による）の順に循環遮断を行い、大動脈に縦切開を加えて逆灌流に移つた。

灌流血はあらかじめ供血イヌと受血イヌとの間に交叉試験を行つて同型と認められたものをえらび、供血イヌにヘパリン 3 mg/kg 投与した後、その股動脈から血液を採取し、さらにこれを酸素加して用に供した。教室の成績に従えば、低体温イヌにおいて冠灌流を行う場合、灌流血温 30~35°C で 5% の心室細動を見るので、我々は本実験を行うに際して灌流血温は 36~37°C に保つた。

灌流管は冠静脈洞圧の測定を行う場合には、No. 8 二重腔カテーテルを用い、灌流圧の測定のみにする場合には、内径 4 mm のシリコン・ゴム製 balloon catheter または、これに相当した太さのポリエチレン・チューブを使用した。灌流方法は落差法ないし圧力瓶等による静的圧のもの、De Bakey 型ポンプによる動的圧のものを試み、冠灌流前に冠循環血量、冠静脈洞流出量、冠静脈洞圧の測定を行い、これらを基準として灌流圧を徐々に上げてゆき灌流圧、灌流量を上下ないしは増減させて至適灌流条件を定めるための一助とした。

灌流量の測定には bubble flowmetr を使用し、灌流量と心電図液形、特に冠不全との相関々係を調べる上において、逆灌流法については、Lillehei 一派

の説を採用し、左冠動脈口流出量を左室心筋流量とみなして、Herrman の式 (体重 [kg] $\times 0.0037$)²⁴⁾ から実験イヌの左室心筋重量 100 瓦当りの流量に校正して検討を加えている。Herrman の成績²⁵⁾ を詳細に検討すると、イヌの体重と心筋重量との比率は各々測定されたイヌにより多少の変動はあるが、余り重要ではないと考えこれに従った。

灌流圧の測定には、Sanborn 社製電気血圧計を用いた。

以上灌流方法は図 1 に示した。

そのほかに硫酸銅法により灌流血の Hb 値を、また Van Slyke 氏法ないしは Atlas-Universal-Oximeter を用いて、灌流血酸素含量と酸素飽和度を求め、心電図波形の考察上参考にすると同時に、心臓の内視所見を調べた。

2) 冠動脈直接灌流法

実験材料として、体重 14~20 kg の成犬 28 頭を用いた。実験方法はさきに述べた逆灌流法とはほぼ同様で、ただ灌流方法が異なるのみである。

灌流器具は圧力瓶に三方活栓を連結し、これと夫々の冠動脈口に適合した大きさのポリエチレン・チューブを装着したものを使用している。

前法同様循環遮断完了後大動脈切開を行い、前記ポリエチレン・チューブを先ず左冠動脈口を経て左冠動脈に挿入し、挿管完了後、灌流管は大動脈切開縁に絹糸の縫合固定を行う。次いで右室側に移るのであるが、この方法では左冠動脈の解剖学的関係からしばしば廻旋枝領ないしは前室間枝領域心筋の灌流不全がおこる危険性が高いので、左室側には左冠動脈口を経て前室間枝ならびに廻旋枝に夫々灌流管を一本宛挿管して灌流を行う様になつて始めて本問題は解消され順調な灌流を行い得るようになった。もつとも後者を採用すると、或る場合には中隔枝灌流不全の問題が起つて来る。灌流量は Herrman の式 (全心筋重量 = 体重 [kg] $\times 0.00786$)²⁶⁾ から全心筋重量 100 瓦当りの流量に校正して、心電図波形との相関々係について検討した。一般の見解に従えば、左室流量 : 右室流量 $\div 3 : 1$ であるが、私が行つた実験においては、左室流量 : 右室流量 $\div 2 : 1$ である。なお灌流方法を図示すると図 2, 3 に示す如くである。

3) 本実験における心電図学的検索方法ならびにその吟味

心電計は Sanborn Twin Viso Cardiette を用い Paper speed は 25 mm/sec. を原則とした。心電図

図 2 冠動脈直接灌流方法 (其一)

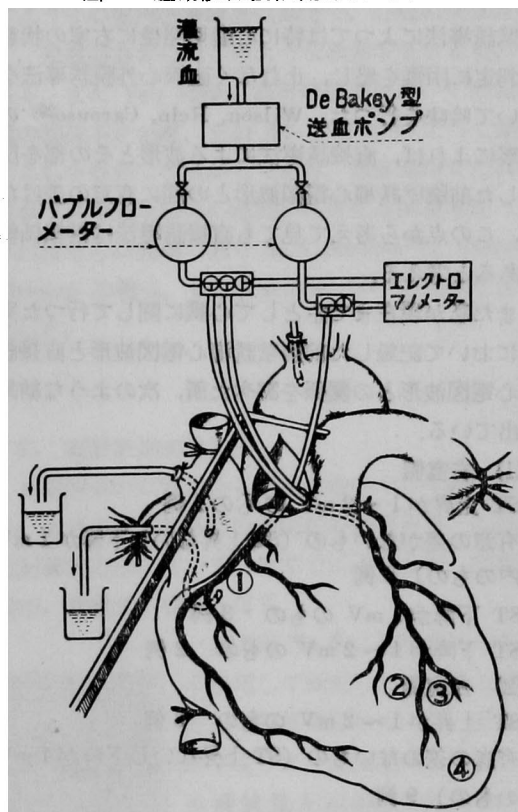
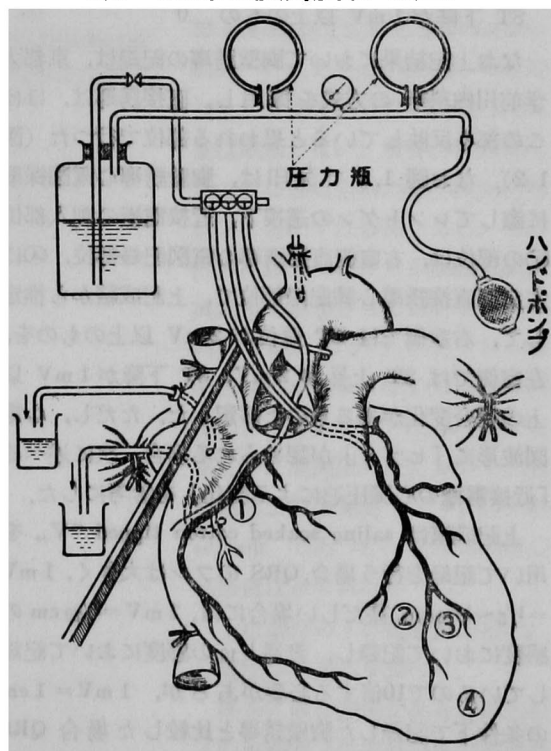


図 3 冠動脈直接灌流方法 (其二)



は開胸前では、標準肢誘導、単極肢誘導ならびに胸壁誘導を記録して control とした。胸壁誘導は Wilson²⁷⁾, Hein²⁸⁾ 氏等が用いた方法を基準とした。また循環遮断前ならびに遮断後時間おきにその変化

を追求したが、循環遮断前後は両側開胸後であり、胸壁誘導法によつては特に心嚢切開後に右室の状態の判定に困難を感じ、止むなく直接心外膜誘導法を用いて吟味を行つた。Wilson, Hein, Carouso²⁹⁾の観察によれば、直接誘導法による波形とその部を反映した前胸壁誘導心電図波形との間に有意の差はなく、この点から考えて見ても直接誘導法は信頼価値があると思われる。

また私が現在まで主として心臓に関して行つた実験において記録した前胸壁誘導心電図波形と直接誘導心電図波形との関係を調べた所、次のような結果が出ている。

(1) 右室側

ST 上昇が 1~2 mV のもの 1 例

有意の差がないもの (ST 上昇ないし下降が 1 mV 以内のもの) 8 例

ST 下降が 1 mV のもの 3 例

ST 下降が 1~2 mV のもの 2 例

(2) 左室側

ST 上昇が 1~2 mV のもの 3 例

有意の差のないもの (ST 上昇ないし下降が 1 mV 内のもの) 9 例

ST 下降が 1 mV のもの 2 例

ST 下降が 1 mV 以上のもの 0

なお上記結果において胸壁誘導の記録は、京都大学前川内科³⁰⁾の方式を採用し、直接誘導は、ほぼこの部を反映していると思われる部位で行つた (図 1, 2)。なお図 1, 2 で矢印は、胸壁誘導心電図採取に際してレントゲンの透視下、近接電極の刺入部位、①の部位は、右室側直接誘導心電図記録部位、④は左室側直接誘導心臓記録部位で、上記成績から推定して、右室側では ST 偏位が 2 mV 以上のものを、左室側では ST 上昇が 2 mV, ST 下降が 1 mV 以上の場合変化があるものと解釈した。ただし、心電図波形に「ヒヅミ」が認められる場合、次に述べる「近接電極の心臓圧迫による変化」を参考にした。

上記成績は saline soaked cotton tipped "V," を用いて記録を行う場合、QRS のフレは大きく、1 mV = 1/5~1/10 cm, 甚だしい場合には、1 mV = 1/20 cm の感度において記録し、普通 1/10 の感度において記録しているので 10 倍する必要があるが、1 mV = 1 cm の条件下で記録した胸壁誘導と比較した場合 QRS のフレは通常その 1/2 以下であるので、都合上そのままの数値を記載した。

そのほか私は実験中の疑点から直接誘導法心電図の吟味に当つて次の事項について調べた。

1. 近接電極の種類: Wilson, Hein, Carouso, Beck³¹⁾らの文献によれば、関電極について記載のあるものとならないものとあり一定しないが、一般には金属板、たとえば Carouso においては polished silver disk と Beck 一派の所謂 saline soaked cotton tipped "V," が代表的である。両者の比較をするに、後者は前者に比べて波形がなめらかであり、その感度は前者の 6~20 倍である。したがつて心電図記録中の校正曲線についてみると、後者では比較的不便であるが、心電図記録中一応校正をおこない可及的速やかに増巾率を×1、すなわち 1 mV = 1 cm に調節してある部にもどして再び校正をおこない、これらをルーペで拡大して比較検討を行うことにしている。人眼球の分解能は 1/10 mm であるので、上記検査によつてほぼその目的は達せられるものと考ええる。つぎに前者をたびたび心表面に当てると、その部の心外膜損傷によると考えられる ST-T の上昇を来す可能性が大きく、その甚だしい場合は単相曲線に近い像を見た。一方前者は後者に比べて圧迫の影響も大きい。それ故に度々心表面に近接電極を当てねばならぬような実験においては polished silver disk は不適当であり、saline soaked cotton tipped "V," の方が適しているようである。

2. 近接電極の温度: 32~40°C において著変はみられないが、電極を極度に冷却した場合、たとえば氷点近くにおいては、QRS ないし T のフレは大きくなる傾向にあり、また低温下では期外収縮の発生が見られる。

3. 室温の影響: 室温が 20°C 以上の場合、通常 T 陽性の場合が多いが、20°C 以下では開胸後 T-inversion をおこし、とくにこの傾向は左室側心電図において著しい。この事実は T 陰性の場合、ただちに冠不全像があると判定することは出来ず、ただ ST に変化がある場合にのみ冠不全の状態を断定出来るものと考ええる。

4. 近接電極の心臓圧迫による変化: 普通 saline soaked cotton tipped "V," では心圧迫の影響はみられず、polished silver disk のかなり強度の圧迫によつてのみ認められるが、その変化は QRS のフレの減少、ST-T 偏位、T の結節形成である。

上記調査においては polished silver disk の不適当な使用時におこりうる欠点のみについて調べたが、詳細な心電図学的検査を必要とする場合、最も誤解を少なくするような方法を用いねばならない。以上の結果から本実験施行時直接心外膜誘導法による心電図学検査には、近接電極は saline soaked cotton

tipped "V.", を用いるのがよいと思われる。私はその場に応じて、これに軽いスプリングをつけ（把持手は無論ゴム）、また金属板の先に綿花をつけて記録している。その温度はイヌの体温に保ち、また近接電極を湿している生理的食塩水はしたたらぬ程度にしぼり、これを所定の心表面（図2参照）に当てると同時に、心表面の乾燥を防ぐために随時滴注している生理的食塩水を適度に拭い記録した。

そのほかに第Ⅱ誘導ならびに V₆₋₇ を加味して吟味を行つている。第Ⅱ誘導は特に PR 間隔の変化を見るのに便利であり、また直接誘導法心電図と同時記録する場合、心電図学的検索に時として多大の便宜をうるからである。たとえば図4に示すように、直接誘導法のみでは特に実験中に瞬間的に判読するのに多少困難を感じる左脚ブロックの存在を容易に見出し得る。本例は僧帽弁切開に腎静脈以下において下空静脈を結紮した例で、低体温下

に15分の循環遮断を行つた例であり、その波形が示すように心室内伝導障害は高度で、心筋の緊張は弱く、死直前おおむねこのような波形を呈するものである。また V₆₋₇ は特に直接灌流法において回旋枝領の灌流不全の際、その ST-T 下降によつて簡単にこれを察知できるからである。低体温時または低体温下循環遮断時の心電図学的変化も無論考慮に入れねばならぬ問題であり、私は Shriben³²⁾, Hicks³³⁾, Fleming の報告、また教室の河西³⁴⁾ の成績を参考にした。

3. 成 績

1) 冠静脈洞逆灌流法

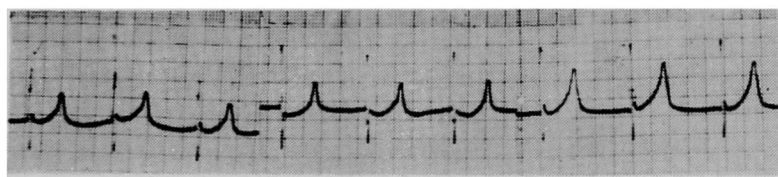
心電図学的な観点から当灌流法について論じる前に、まず至適灌流条件の決定が必要である。これは上記灌流方法において一部すでに述べたが、なお灌流圧、灌流量が問題となる。

表1は No. 8 二重腔カテーテルを使用して測定した灌流量と灌流圧との関係を示している。表1が示すように、灌流圧の上昇とともに灌流量左冠動脈口流出量は増加するが、圧が一定度すなわち 35 mmHg 以上になると Thebesian Flow すなわち右心腔内への短絡血量が増加し、左側冠動脈口流出量は増加しない。教室林の調査によると心筋出血は、洞圧 35 mmHg 以下においては皆無である。この限界圧以下における左側冠動脈口流出量を増加させる目的をもつて、内径 4 mm のシリコン・ゴム製 balloon catheter ないしはほぼ同径のポリエチレン・チューブを使用して、灌流限界圧において左冠動脈流出量を測定した所 13~24 cc/min. であつた。またこの際心筋出血はみられなかつた。

上記条件の下に冠灌流を行い、心電図学的変化を調べた。

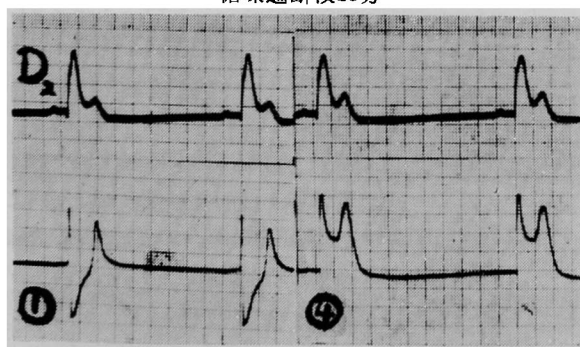
挿管に直接関係があると思われる心室細動発生率は71%で甚だ高率であるが、その後常温下で挿管を行うようになり9%にその発生を見るようになり、その頻度は甚

図 4

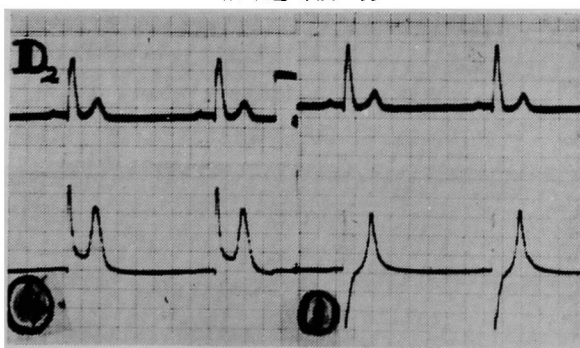


① ② ④
循環遮断前、記録してあるのは、直接誘導心電図。番号①②④は図2に於いて示してある部位。爾後に示す心電図の記録部位も之に準ず。

循環遮断後13分



循環遮断後15分



1 mv = 1/20 cm Film Speed = 25 mm/Sec.

表1 灌流量と灌流圧 (逆灌流法)

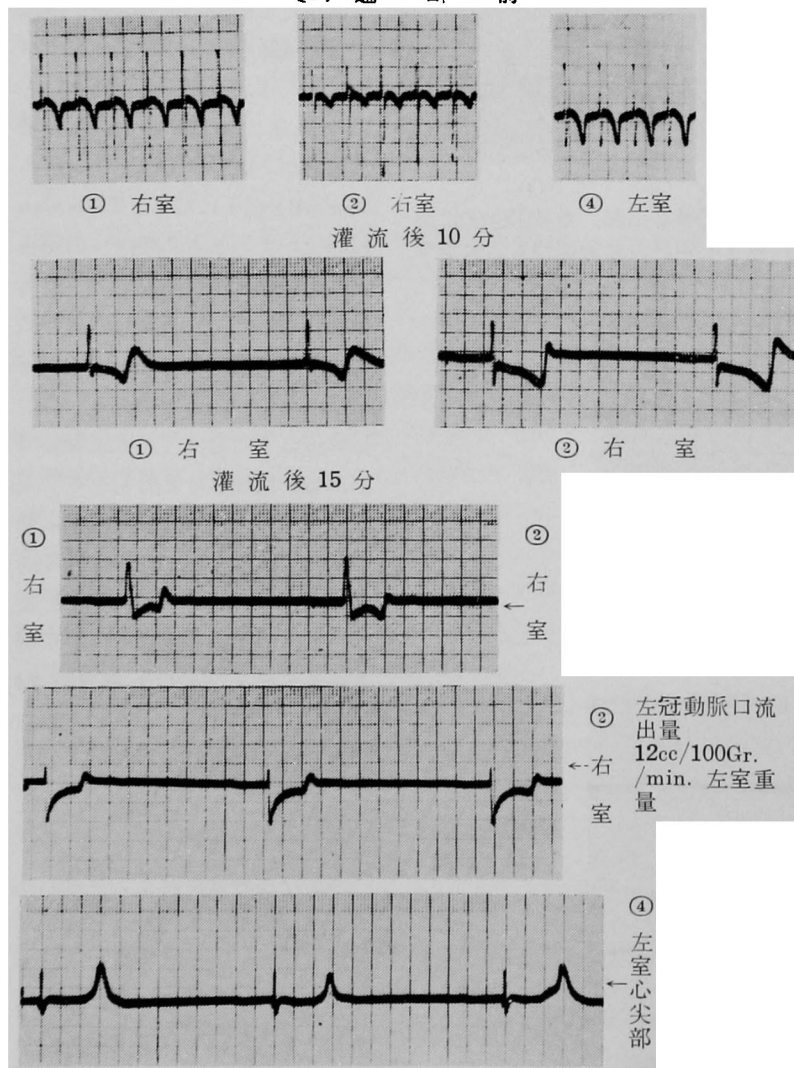
灌流量 cc/min.	10—20	21—30	31—40	41—46
左冠動脈口流出量 cc/min.	5—16	8—18	6—15	10—12
右心流出量 cc/min.	4—12	5—12	17—32	26—35
冠静脈洞平均圧 mm Hg	14—26	20—35	33—65	40—70

だ低くなつた。なお細動発生は口径の大きいカテテル挿入に際して起る頻度が高く、5例中4例すなわち80%の高率において発生した。心電図学的変化については、本実験では主として遮断前後の変化に重点をおいて検索した。

心電図の各部分の変化は、(1) ST-T の変化、(2) QRS の変化、(3) PQ の変化、ならびに (4) RR 間隔の変化の4項目に要約される。

図 5 (1)

冠静脈洞逆灌流法心電図変化
〔1〕遮断前



(1) ST-T の変化： 本灌流法の特徴として、右室冠不全像をみることは毎常であり、その甚だしい例として、6例中1例において、循環遮断後32分で著明な trigger を確認し、これは間もなく心室細動に移行した。Counter shock による心蘇生術を試みたが、結局無効であつた。左室側直接誘導心電図において ST-T は、心仕事量ないし心搏数と関係があるが、本実験においては、RR 間隔の著しい延長が見られ 2.36~2.4" の間にあり、このような徐脈下においては、ST-T は 12~15 cc/min. 100 g 左室心筋重量において基線上にあるか、或いは軽度の冠不全像をみる。

灌流血の Hb 値は 13.4~7.4 g/dl, 酸素含量 17.3~10.6 vol%, 酸素飽和度 92~96% であるが、この範囲においては、上記3条件と冠不全像との間に有意の相関々係は見られなかつた。

なお上記右室側心電図変化を裏付けするもののように、すべての実験例において右冠動脈口からの血液の流出は認められず、心臓の色調は大体15~20分でチアノーゼを帯びてくる。

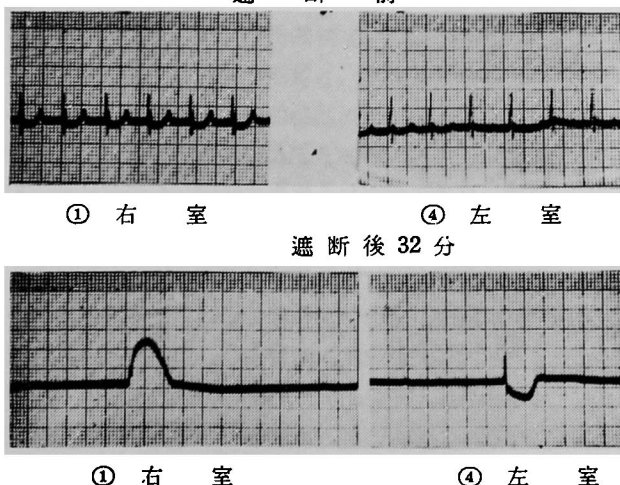
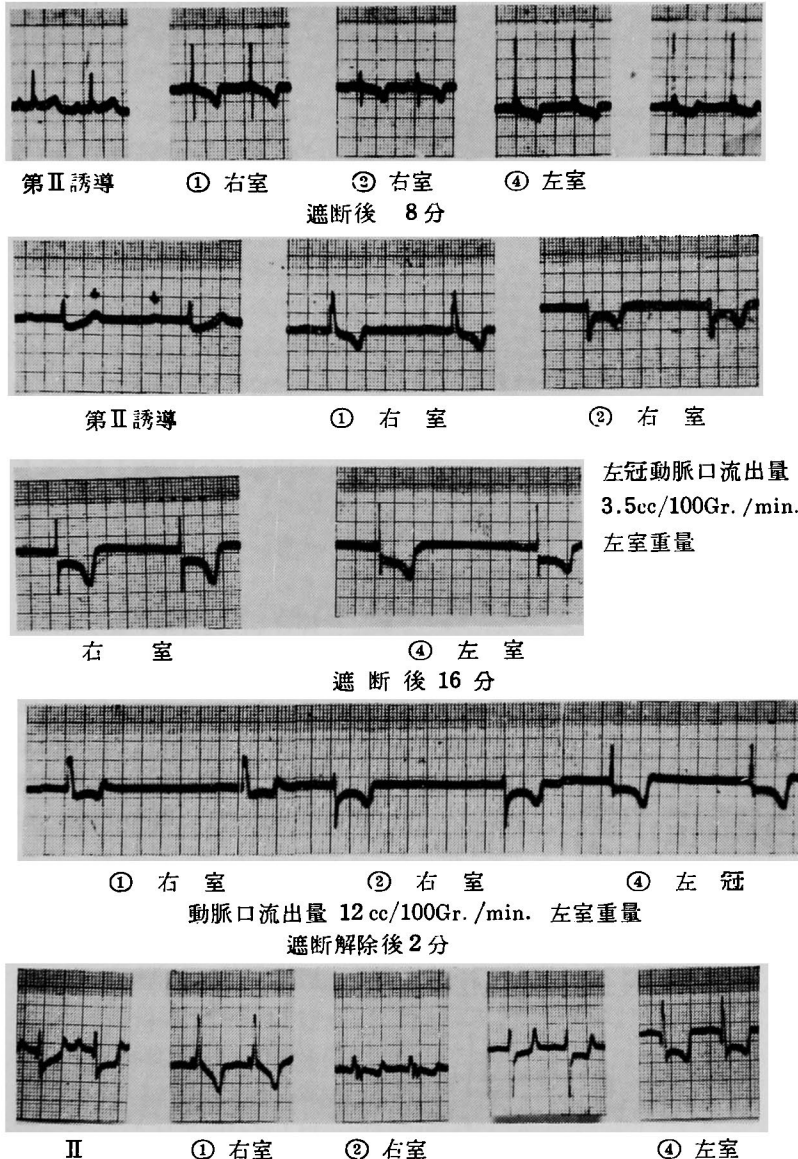
(2) QRS の変化： 直接誘導心電図において遮断前のものと、遮断後10~15分のもを対象として QRS のフレを調べて見ると、右室側心電図においては、全例に QRS のフレの減少をみ、その程度は遮断前の $\frac{2}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ の間にあり、また左室側にあつては1例を除く5例に上記所見が見られた。稀に QRSvd の延長、Rvd の増高、Svd の消失を見たが、明らかな右脚ブロック像ではなかつた。

(3) PR 間隔の変化： 6例中1例に不完全房室ブロック (2:1 房室ブロック) を、他の5例に first degree AV-block を見た。

(4) RR 間隔の変化： 循環遮断直後から RR 間隔は延長し、その程度は時間の経過とともにつよくなる。

なお遮断後、1例を除き全例死の経過をとつたが、その殆んどが急に洞調律から心室細動に移行し

図 5 (2) 冠静脈洞逆灌流法心電図変化
〔2〕遮断前



たもので、完全房室ブロック、trigger から心室細動をおこしたものは各1例ずつに過ぎない。挿管を完了し、十分な冠灌流を行い得た例において、心室細動等重篤な心電図学上的変化があらわれるまでの時間は平均15分であつた。

以上の変化は図5の(1)(2)(3)に示した。

2) 冠動脈直接灌流法

前法同様至適灌流圧ならびに灌流量について図2に示した方法で調べた結果を表2に示したが、なお圧力瓶 100~120 mmHg における流量を図3に示した方法で計測すると 25~38 cc/min. 全心筋重量であるので、まず圧力瓶 100~120 mmHg の圧の下に灌流を試みた。

また左室流量：右室流量 \div 2：1となつている。一般の見解に従えば、生理的な冠循環において、左室流量、右室流量 \div 3：1であるが、50分内外の冠血行保持においては少くとも右室心筋出血、左室冠不全像はみられなかつた。

灌流方法として De Bakey 型 pump を使用した時期もあるが、時に脈圧が大きくなり、200/20, 186/32 mmHg の2例はいずれも心室細動に移行している。唯

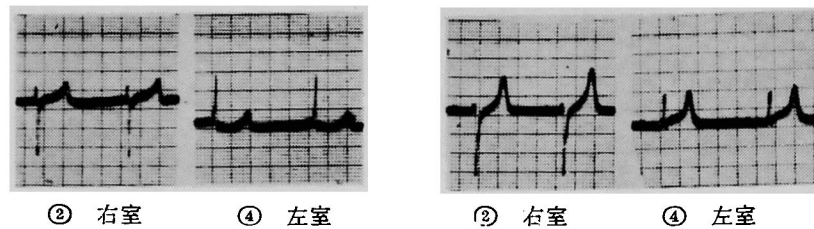
表2 灌流管圧と灌流量（直接灌流法）

	左冠動脈		右冠動脈	
灌流管平均圧 mm Hg	160以上	180以上	45以下	60以上
灌流量 cc/min.	18—25	24—30	8—10	10—20
心筋出血	(—)	(—)	(—)	(—)

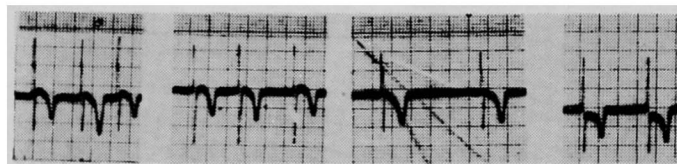
2例のみで判断するのはやや早計とも思われるが、そのほかに灌流回路が長いという欠点もあり、動圧で灌流する方法は中止し、主として圧力瓶により灌流を行つた。

心電図変化： 最初は左右の

図 6 (1) [1] 冠動脈直接灌流法心電図
遮断前 遮断後25分

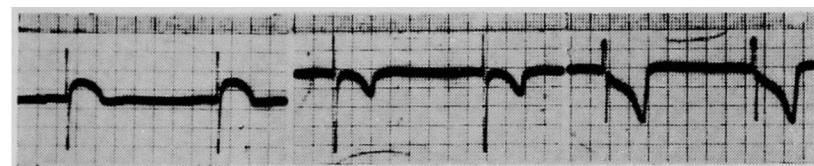


[2] 遮断前



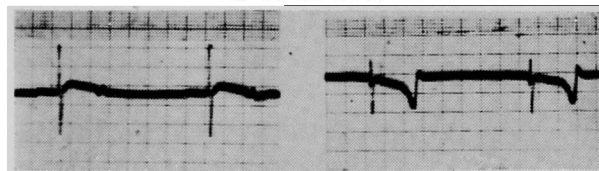
① 右室 ② 右室 ③ 左室 ④ 左室

遮断直後



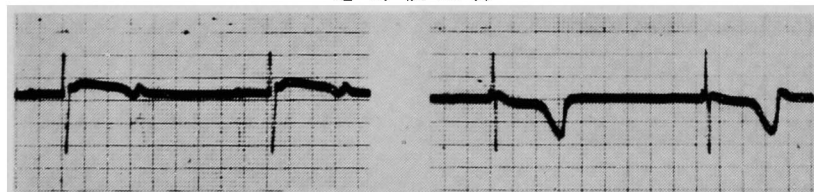
① 右室 ① 右室 ④ 左室

遮断後30分

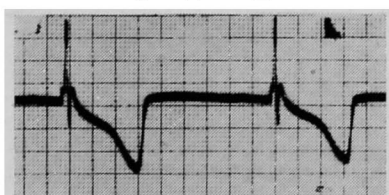


① 右室 ④ 左室

遮断後56分

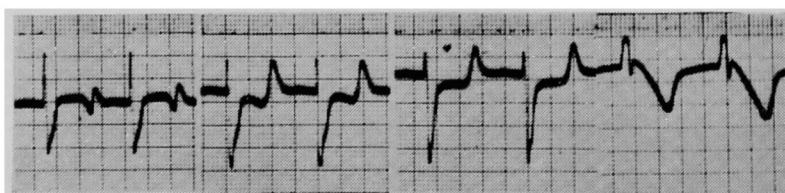


② 右室 ① 右室



④ 左室

解除直後



II ① 右室 ② 右室 ④ 左室

冠動脈口へ夫々適合した灌流管を挿入して灌流を行っていたが、この方法では左冠動脈の解剖学的関係から、とくに回旋枝領の灌流不全をおこし、V₆₋₇ ないしは同領域における直接誘導心電図波形において、ST 下降を見たので、この方法は中止し、左冠動脈口からは夫々前室間枝ならびに回旋枝に挿管する方法を採択して、順調な灌流が行えるようになった。挿管順序は、大動脈弁々膜症で心筋障害を呈するものは、その総べてが左室障害を有していることが原則であるので、まず左冠動脈口から挿管し、挿管完了とともに灌流を開始し、次いで右側に移ることになっている。従つて総べての挿管を完了し、灌流を始めた初期においては、右室側直接誘導心電図において ST-T の上昇を認め、その counterpart に当る部分、すなわち左室側心電図において ST の下降を見るが、これは両室の灌流開始後 30''~1' で消失し、以後灌流量が 27~32 cc/min. 100 g 全心筋重量以上においては左右心室の ST-T は基線にある。ヘモグロビン値、酸素含量、酸素飽和度の ST-T に及ぼす影響は、前に述べた逆灌流法と類似の条件下においてはなかつた。ただ 1 例において、灌流血に著明な溶血があり、その Hb 値 7.2 g/dl, O₂ 含量 10.2 Vol%, O₂ 飽和度 90% の条件で、両室に著しい冠不全像を見たが、この例も詳細に吟味して見ると、酸素飽和度 90% の下に頻脈（結節性のものと考えて間違いなかる

う)があるので、ヘモグロビン値の影響と即断することは出来ない。QRS のフレの減少は、本灌流法下では1例にみられた。しかも遮断25分後にはじめて現われているのは注目すべきことである。一般に灌流量が多い場合 QRS のフレの減少は見られない。PQ には著変なく、時として房室ブロックの発生を見るが、これは灌流の適正化ないし遮断解除と共に消失する。RR 間隔も順調な灌流が行われている限り著変は見られない。挿管と直接関係があると思われる心室細動発生率は15.4%で逆灌流法よりやや上廻るが、これは挿管が低体温下に行われるのも一因と考えられる。なお挿管後充分な冠血行保持が行われた例において、心室細動をおこした例は、12例中1例にすぎず、そのほかの例においては、平均50分で遮断を解除している。

上記心電図学的変化は図6 (1) (2) に示した。

4. 総括ならびに考按

両灌流法、特に逆灌流法において、循環遮断後死の経過をとるものは、大部分心室細動によるものである。また常温時挿管に際しては、通常挿管に直接関係があると思われる心室細動発生率は非常に少ないが、低体温時の挿管、特に太い灌流管の挿入に際して、心室細動発生を高率に見ることから考えて、心筋の被刺激性が昂まり、常温時には起らぬような刺激によつても心室細動が起りうるものと思われる。常温下に行う方が理想的であると考え。Swan 等³⁶⁾も低体温法を始めた初期においては、大動脈弁々膜症の根治手術を低体温下に行つたこともあるが、その後まもなく心臓は容易に心細動を惹起すると述べ、大動脈弁々膜症根治手術に低体温を応用することを断念している。心電図学的観点から見た至適灌流条件は、逆灌流法においては STvs が基線上にあること、直接灌流法では STvd, vs が基線上にあるのが理想であり、灌流血の酸素加が充分な限り、灌流量ひいては灌流圧が決定因子となる。しかし ST-T 下降の問題を重視する余り、灌流圧に対する考慮を無視することは危険であり、灌流は灌流限界圧を示標として行うべきである。

両法を比較するに、不完全房室ブロック発生頻度は、明らかに逆灌流法においてたかく、また逆灌流法において、直接誘導心電図において QRS のフレの減少を見ることが多い。Bellet³⁶⁾は前胸壁誘導における低電位差は、心臓から胸壁にいたる電氣的伝導障害のない限り、心筋が発生する起電力の減少

を意味し、これは広範囲にわたる重篤な心筋疾患を示唆すると述べている。本実験においても Bellet の説は適用されるから心筋の収縮力の減少を意味するものと考えられる。

Lillehei 一派の Gott 氏等、また岡田氏等は逆灌流法について標準肢誘導を用いてその変化を追求している。Gott 氏等は普通第Ⅱ誘導を記録して、特にその ST-TⅡ 下降を冠静脈の解剖学的関係による右室の灌流不全のためと解釈している。教室の寺本³⁷⁾の報告では、イヌにおいてはその殆んどが垂直位心で、この際第Ⅱ誘導は、左室の状態すなわち V₅₋₆ の状態の反映と考えてほぼ間違いないとしている。STⅡ≡STvs として、STvs の漸次下降は、1) 左室冠不全像、2) 右室 Trigger の左室へ及ぼす影響、3) 右室の高度冠不全像 (ST-T の上昇) に左室の冠不全像 (ST-T の下降) が加味されたもの、以上3つの状態が考えられるが、正確に理解するためには、胸壁誘導法心電図の連続記録により吟味を行うか、また本実験におけるような開胸時には、直接誘導法の連続記録が最も理想的と考える。さて私がおこなつた吟味方法に従えば、右室冠不全像は、まず STvd の下降をもつて始まるが、30~40分後には Trigger を生ずる危険性が大きく、到底冠動脈直接灌流法におけるような長時間の心機能保持は不可能であると考え。

以上心電図学的変化を示標として考えて見ると、直接灌流法は逆灌流法に比しはるかにすぐれた灌流方法であるが、この臨床応用についての検討は第2編で述べる。

5. 結 語

選択的脳灌流冷却法を用いて循環遮断を行い、冠静脈洞逆灌流と冠動脈直接灌流をおこない、両法を比較検討した。その結果を要約すると次の如くである。

1. 低体温法下では、心筋の被刺激興奮性がたかまり、本実験に低体温法を使用することは不適である。

2. 直接冠動脈灌流法は、冠静脈洞逆灌流法に比し心機能をより正常に保ちかつ循環遮断可能時間もはるかに長く、後法の15分に比し、前法では50分以上である。

3. 至適灌流条件について述べると、冠静脈洞逆灌流法で灌流圧 35 mmHg 以下、直接灌流法では 120 mmHg 以下が最適で、この灌流限界圧以下にお

いて心電図の ST-T 偏位をなるべく軽度にするのがよい。灌流体温は 36~37°C に保つのが無難で、灌流血の Hb 値は、酸素加が充分なかぎり、Hb 値 = 7.2 g/dl 以上においては使用して差支えない。

稿を終るに当り、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜った恩師津田誠次名誉教授、砂田輝武教授に

深甚なる感謝を捧げると共に絶大なる援助を頂いた稲田助教授、田口講師ならびに教室心臓研究班の諸氏に衷心より謝意を表します。また心電図について種々御懇切な御教示をいただいた京都大学内科第3講座緒方豊講師に深甚なる感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Bailey, C. P.: Surgical treatment of mitral stenosis. *Dis. Chest.* 15; 377, 1949.
- 2) Cookson, B. A., et al.: The use of arterial transfusion as an adjunct to hypothermia in the repair of septal defect. *Ann. Surg.* 140: 100, 1954.
- 3) Schumway, N. E., et al.: Coronary perfusion for longer periods of cardiac occlusion under hypothermia.
- 4) 木本誠二ほか: 直視下心臓内手術の手段としての選択的脳灌流冷却法並びに冠動脈灌流法. *臨牀外科*, 11; 5, 319, 昭31.
- 5) 佐藤文雄ほか: 直視下心臓内手術の心電図学的研究. *胸部外科*, 9; 606, 昭31.
- 6) 林周一ほか: 低体温における冠灌流. *胸部外科*, 9; 615, 昭31.
- 7) 岡田浪速ほか: 直視下心内手術の基礎的研究 (特に冠循環系灌流を中心として) 呼吸と循環, 4; 877, 1956.
- 8) 田口一美ほか: 冠灌流下選択的脳灌流冷却法による直視下心臓手術の実験と臨床. *胸部外科*, 10; 33, 1957.
- 9) Pratt, F. F.: The nutrition of the heart through the vessels of Thebesius and the coronary veins. *Am. J. Physiol.* 1; 86, 1898.
- 10) Roberts, J. T., et al.: Experimental studies on the nourishment of the left ventricle by the luminal(Thebesian)vessels. Nourishment of the myocardium by way of the coronary veins. *Fed. Proc. Balt.* 2; 90, 1943.
- 11) Beck, C. S., et al.: Revascularization of heart by graft of systemic artery into coronary sinus. *J. A. M. A.* 137; 436, 1948.
- 12) Beck, C. S., et al.: Scientific basis for the surgical treatment of coronary artery disease. *J. A. M. A.* 159; 1264, 1955.
- 13) Leighninger, D. S., et al.: Revascularization of the heart by anastomosis between aorta and coronary sinus. *Ann. Surg.* 140; 668, 1954.
- 14) Beck, C. S., et al.: Operations for coronary artery disease. *Ann. Surg.* 141; 24, 1955.
- 15) Blanco, G., et al.: A direct experimental approach to the aortic valve. II. Acute retroperfusion of the coronary sinus. *J. Thor. Surg.* 32; 171, 1956.
- 16) Gott, V. L., et al.: Retrograde perfusion of the coronary sinus. For direct vision aortic surgery. *Surg. Gynec. & Obst.* 104; 319, 1957.
- 17) Lillehei, C. W., et al.: The direct vision correction of calcified aortic stenosis by means of a pump-oxygenator and retrograde coronary sinus perfusion. *Dis. Chest.* 30; 123, 1956.
- 18) 岡田浪速ほか: 逆行性冠灌流法について. *最新医学*, 12; 81, 1957.
- 19) Kay, E. B., et al.: Direct coronary artery perfusion for aortic valve surgery. Report of technique. *J. A. M. A.* 168; 1767, 1958.
- 20) Parkins, W. M., et al.: Brain cooling in the prevention of brain damage during periods of circulatory occlusion in dogs. *Ann. Surg.* 140; 284, 1954.
- 21) 杉江三郎ほか: 選択的脳灌流冷却法. 呼吸と循環, 3; 560, 1955.
- 22) 浅野献一: 直視下心臓内手術の研究, 特に選択的脳灌流冷却法について. *日外会誌*, 56; 1131, 1955.
- 23) 田口一美ほか: 薬物冬眠下選択的脳灌流冷却法の実験と同法による直視下心房中隔欠損縫合術の臨床例. *胸部外科*, 9; 588, 昭31.

- 24) Edwards, W.S., et al.: Coronary blood flow and myocardial metabolism in hypothermia. *Ann. Surg.* 139; 275, 1954.
- 25) Herrman, G.R.: Experimental heart disease. 1. Methods of dividing hearts with sectional and proportional weights and ratios for two hundred normal dog's hearts. *Am. Heart J.* 1; 213, 1925.
- 26) Kuykendall, S.J., et al.: Experimental creation of chronic mitral insufficiency. *Ann. Surg.* 147; 98, 1958.
- 27) Wilson, F.N., et al.: The precordial electrocardiogram. *Am. Heart J.* 27; 19, 1944.
- 28) Hein, G.E., et al.: Direct electrocardiograms from the human heart in situ. Comparison of direct leads with precordial leads. *Circulation* 1; 964, 1950.
- 29) Carouso, G.J., et al.: Epicardial electrocardiograms recorded in the course of seven cases of heart surgery. *Circulation* 5; 48, 1952.
- 30) 緒方豊: 私信. 昭31.
- 31) Brofman, B.L., et al.: Electric instability of the heart. The concept of the current of oxygen differential in coronary artery disease. *Circulation* 8; 161, 1956.
- 32) Shriben, W.J., et al.: Cardiovascular response of the dog to immersion hypothermia. *Am. J. Physiol.* 161; 155, 1950.
- 33) Hicks, C.E., et al.: Electrocardiographic changes during hypothermia and circulatory occlusion. *Circulation* 8; 21, 1956.
- 34) 河西正充: 心臓外科と心電図. 第1編, 冬眠麻酔(全身冷却法)時の心電図について(実験的研究) 岡医会, 69; 3 (737) 昭32, 3, 31.
第2編, 選択的脳冷却時及びそれによる心血流遮断実験或は心臓内直視下手術時の心電図について(実験的研究) 同上.
- 35) Swan, H., et al.: Hypothermia in surgery: Analysis of 100 clinical cases. *Ann. Surg.* 142; 382, 1955.
- 36) Bellet, S., et al.: The significance of low voltage of the QRS complex in precordial leads comparison with low voltage in limb leads. *Am. Heart J.* 22; 206, 1941.
- 37) 寺本滋: 実験的僧帽弁閉鎖不全症に対する下空静脈結紮術の効果について. 岡医会誌, 71, 3, 2 (768号) 昭34, 3, 15.

Electrocardiographic Study on Coronary Perfusion for Direct Vision Aortic Surgery

Part I. Coronary Perfusion Under Selective Brain Cooling

By

Jushin Ikeda, M. D.

From the Second Surgical Division, Okayama University Medical School
(Director: Formerly, Emeritus Prof. Seiji Tsuda; Presently, Prof. Terutake Sunada)

Both retrograde perfusion via the coronary sinus and direct perfusion of the coronary artery during circulatory occlusion under selective brain cooling were studied and evaluated from the electrocardiographic standpoint. The following results were obtained.

- 1) Hypothermia is not applicable for this type of experiment because irritability of myocardium is increased by hypothermia resulting ventricular fibrillation.
- 2) Direct perfusion is more physiologic than retrograde perfusion and circulatory cessation is maintained over 50 minutes without deleterious effect to myocardium compared to only

15 minutes available in the latter method.

3) Perfusion pressure not exceeding 35 mm Hg. in retrograde perfusion and below 120 mm Hg. in direct perfusion are optimal to obviate myocardial damage which is manifested as ST-T deviation in electrocardiogram. It is safe to keep temperature of perfusion blood between 36 and 37°C. Blood containing over 7.2 g/dl Hb is applicable for perfusion if oxygenation is satisfactorily attained.
