

綜 説

単純超低体温下開心術の現況と問題点

菅谷晴彦 森本雅己 関 竜 幸
井之川孝一 佐藤 晃 志田 寛

信州大学医学部第二外科教室 (主任: 降旗力男教授)

PRESENT SITUATION AND PROBLEMS OF OPEN
HEART SURGERY WITH SIMPLE PROFOUND
HYPOTHERMIA

Haruhiko SUGENOYA, Masami MORIMOTO,
Tatsuyuki SEKI, Koichi INOKAWA,
Akira SATO and Hiroshi SHIDA

The Second Department of Surgery, Faculty of Medicine,
Shinshu University

Key words: 開心術 (open heart surgery), 単純超低体温 (simple profound hypothermia),
低体温の病態 (pathologic physiology of simple profound hypothermia),
低体温・人工心肺併用 (hypothermia with heart lung machine)

はじめに

本邦においては、岡村ら¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾によってその有利性と実施法について詳しく報告されている単純超低体温下開心術は、無血かつ静止した手術視野が得られるため、手術操作が容易で、複雑な心疾患の修復も可能であり、また少量の血液を準備するのみでよく、装置も少なく安価であるといった利点を有する反面、血流遮断時間に限界があり、かつまた心蘇生の点について未だ未解決の問題点がある。しかし最近では本法における麻酔法および心蘇生法にも改良工夫が加えられるようになり、その適応が乳幼児のみならず年長者の心疾患患者にもひろげられ⁶⁾、良好な手術成績が得られるようになってきた。

当教室においても、昭和40年1月より昭和47年1月までに症例をえらんで195例の先天性心疾患患者に単純超低体温法による開心術を試み、良好な手術成績をおさめてきている。

そこで、以下、第二外科における単純超低体温法の適応および麻酔方法、実施中に究明し得た二、三の病態生理の問題点、心蘇生の問題および体外循環との併

用などについて触れながらその現況を報告する。

I 適応および麻酔方法

単純超低体温法は新生児、乳幼児でも冷却および加温の操作が容易で、大量の血液を必要とせず、血液の性状の変化がほとんどなく、また手術時においても無血静止視野が得られるため、複雑な手術操作も比較的容易である。さらにまた、術後反応が軽く安定した術後経過が得られるといった長所⁷⁾⁸⁾がある。一方、体重の多い症例では冷えにくく、また冷却過程において心室細動を起しやすいといった欠点がある。また、血流遮断時間にも許容時間があり、さらに心蘇生の点で未だ問題を残している⁹⁾。したがって、本法では疾患の種類および程度、年齢および体重、手術時間などを考慮してその適応を決めなければならず、当然のことながら術前診断の正確さが要求されるわけである。現在のところ第二外科においては年齢20才以下、体重40kg以下で、かつ心内操作が血流遮断の許容時間を超えないと考えられる症例のみを本法の適応と定めている。ちなみに、冷却温(食道温)と血流遮断時間¹⁰⁾に

ついで言及すると、施設により多少の差はあるが、当教室においては、血流遮断前の循環状態が良好であることを前提として、25°Cで30分、20°Cで60分を安全血流遮断時間と定めている。

つぎに、麻酔実施方法について述べると、本法は瀕死⁹⁾らが詳しく述べているようにエーテルの深麻酔と自律神経遮断剤の併用を基礎とし、人体冷却により惹起される末梢血管の収縮、血液濃縮、赤血球の Sludging、血圧上昇、寒冷反応による酸素消費量の増加、呼吸促進といった反応を自律神経遮断剤により抑制し、体温の下降による新陳代謝の低下を利用したものである。よって麻酔剤、自律神経遮断剤の他に、抗凝血剤ならびにその拮抗剤、筋弛緩剤、血液稀釈¹⁰⁾および循環血液量保持¹¹⁾のための補液なども必要となる。前投薬については、本法はエーテル麻酔を基礎としているので、安全、円滑に麻酔を行なうために十分な前投薬⁹⁾¹¹⁾¹²⁾を投与する必要がある。即ち麻酔前日就眠時および当日に Pentobarbitalum Calcium (ラボナ)、Chlordiazepoxide (コントロール)を内服させ、麻酔導入1時間30分前より血圧、脈搏、呼吸に注意しながら、硫酸アトロピン 0.01mg/kg, Pethidine (オピスタン) 1mg/kg, 塩酸プロメサジン (ピレチア) 1mg/kg, Triflupromazine (ベスプリン) 0.5mg/kg を分割筋注にて投与している。麻酔剤としては低体温麻酔の際、(1)安全域が広く調節性がある、(2)強力な麻酔作用があり深麻酔まで十分酸素を与える、(3)心筋抑制が少なく被刺激性を増加させない、(4)末梢血管抵抗の増大がなく、血管のトーンスが深麻酔まで保たれる、といった条件⁸⁾が要求され、エーテルはこれらの条件をほぼ満足する麻酔剤である。

そこで麻酔方法の実際について述べると、導入は Thiopental (ラボナル)を静注し、Succinylcholine chloride (サクシン)で筋弛緩を得てから気管内挿管を行ない、閉鎖循環にて灯心型気化器を開きエーテルを純酸素と共に流し過呼吸下に急速に導入し、速やかに興奮期を通過させⅢ期に達せさせる。その後は自発呼吸の発現をまち自然呼吸下に徐々にエーテルを吸入させる。エーテル吸入量は30°Cまでに2ml/kgを吸入させ、その後は30°Cから25°Cまでに0.5ml/kg、25°Cから20°Cまでに0.5ml/kgを各々追加吸入させることを目安としている。この間に血管を確保し、低分子デキストラン、5%キシリトールを各々5ml/kgずつ冷却終了までに点滴投与し血液の稀釈をはかり、また必要なモニター類(心電図計、食道温度計、脳波

計、指尖容積脈波計)を装着する。エーテルが0.8~1.0ml/kg入ったところで自律神経遮断剤である Triflupromazine (ベスプリン)を0.5~0.7ml/kgを追加筋注し、血圧、脈搏に変動のないことを確め、水槽に浸漬し、さらに Shivering の発現のないことを確認したのち、氷を入れ氷水槽冷却を開始する。食道温30°C前後に冷えたところで血栓防止と血液凝固抑制の目的でヘパリン1~1.3mg/kgを静注する。30°C前後で呼吸抑制が著明にあらわれるため、この頃より補助呼吸が必要となり、さらに25°C前後より自発呼吸が消失するため、以後血流遮断までは調節呼吸に切り替える。冷却は血流遮断時間を考慮し、また After drop¹³⁾を2~3°Cと見込み、目的とする温度の2~3°C高めで中止する。つぎに、冷却が終了し、手術が開始される直前に筋弛緩剤を投与し、横隔膜の痙攣性呼吸運動をとめ、遮断中のむだな酸素消費を防止する。手術開始後、血流遮断と同時に調節呼吸を中止する。心内操作が終了し、血流遮断解除後の心蘇生をまって、43°Cの温水槽で加温を開始し、純酸素で調節呼吸を再開する。心蘇生が得られ、循環動態が安定化した時期、即ち、心拍動では、洞調律に復したところで、ヘパリンの拮抗剤である硫酸プロタミン1.5~2.0mg/kgをゆっくり点滴投与し、血圧下降を来さないように観察する。またこの時期よりエーテルの Wash out を積極的に開始する。以後は Vital sign に注意しながら加温を続け、食道温34°Cに復したところで加温を終了し、以後覚醒をまって抜管する。

低体温麻酔では、麻酔管理が良好であれば、冷却により血圧、および脈搏は減少し加温により再び鏡面像的に血圧、脈搏は増加するを常とするが¹³⁾、冷却過程においては、心停止および心室細動を起すことなく、洞調律のまま、かつ、脳波を消失させないように末梢循環を保持し、体温下降に合わせながら、所定量のエーテルを吸入させるのが本法のキーポイントである。最近我々は冷却30°C前後で、ステロイドの大量投与(ハイドロコチゾン20mg/kg)を行ない末梢循環不全の改善に良好な結果を得ている¹³⁾¹⁴⁾また、加温時の問題として Rewarming shock¹⁵⁾の報告があるが我々のところではその経験はない。

Ⅱ 低体温における病態生理

現在低体温における病態生理については未だ不明の点が多いが、こゝでは我々が究明し得た病態生理上の二、三の問題点について触れ、さらに、その対策につ

いても言及する。

まず酸塩基平衡では重曹でとくに酸塩基平衡の補正を行なわなかった非補正例30例の平均値についてみると図1のごとく、PH および Base Excess は冷却とともに低下し、最低温時より、むしろ心内操作終了後の加温時において最も著明であり、また復温時において、なお PH および Base Excess は低値を続け、術後8時間において回復の傾向を示し、術後24時間で正常に復している。この代謝性アシドーシスは図2のごとく冷却による血中乳酸の増加ときわめて密接な関係を有すると考えられる。この低体温中の酸塩基平衡は、冷却過程における末梢循環不全および血流遮断の結果、嫌気性代謝が進行し、また冷却により肝での乳酸の処理が不十分となるために惹起されるものと推測されている。この代謝性アシドーシスが冷却過程において循環動態にどのような影響を及ぼすかは未だ明ら

かではないが、高度の場合には不整脈あるいは末梢循環障害のための冷却の遅延を来たすようである。一方心蘇生に関しては、表1のごとく非補正例と補正例を比較すると心搏動を得るまでの心マッサージ時間には差はみとめられないが、洞調律を得るまでの時間では補正例において明らかな短縮がみとめられている。したがって Base Excess を基準として図3のごとく Base Excess -10mEq/l 以内にとどめるよう補正するのが適切と考えている。

表1 心蘇生状況

平均	最低温 (°C)	血流遮断 時(分)	心マッサージ時間 (分)	洞調律 出現時間 (分)
非補正例 (30例)	23.7	26.6	6.6	32.4
補正例 (15例)	23.6	24.9	6.3	22.9

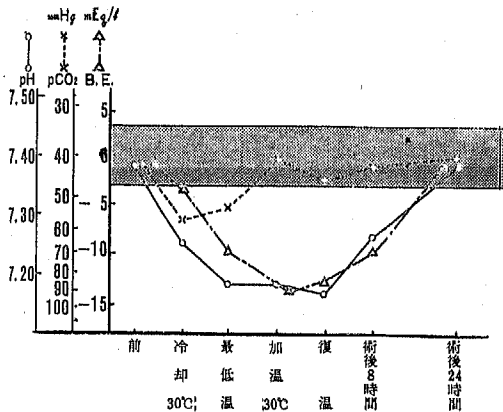


図1 酸 - 塩基平衡
(低体温・非補正例30例の平均値)

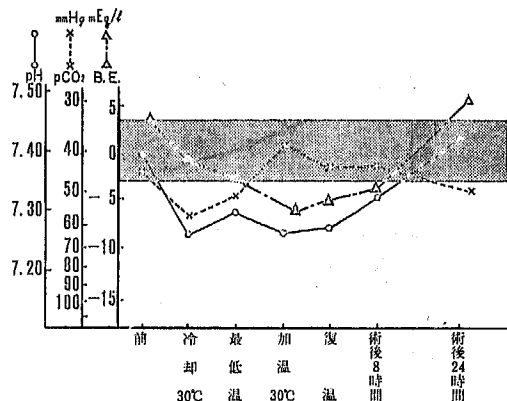


図3 酸 - 塩基平衡
(低体温・補正例15例の平均値)

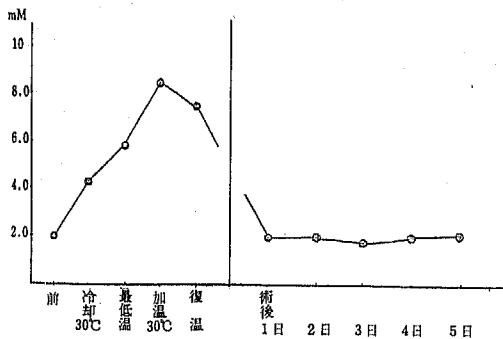


図2 血中乳酸の変動
(低体温開心術-非補正例30例の平均値)

つぎに、電解質については血清 Na および血清 Cl には特別な変動はみとめられないが、血清 K は図4のごとく、冷却により低下し、最低温時に最低値を示すが、心内操作終了後の加温過程において再び増加し、復温時にはほぼ正常範囲にまで増加し、体温の低下および上昇とよく一致した変動を示し、術後第1日目に前値に復している。この血清 K の変動の本態に関しては未だ充分には解明されてはいないが、血球 K は図4のごとく、冷却および加温によっても全く不変であり、一方図5のごとく、尿中電解質は冷却により、その排泄がいずれも低下することなどから血清 K は冷却により一時的に組織中にプールされ、加温とともに再

び血清中に増加してくるものと考えられる。この血清Kの低下に対しては大部分の症例において特別な処置は要しないが、冷却による低下が著明な場合にはKの補給が必要であるとする。

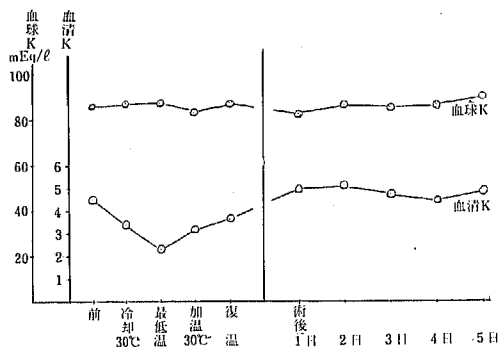


図4 血清Kおよび血球Kの変動
(低体温開心例・非補正例30例の平均値)

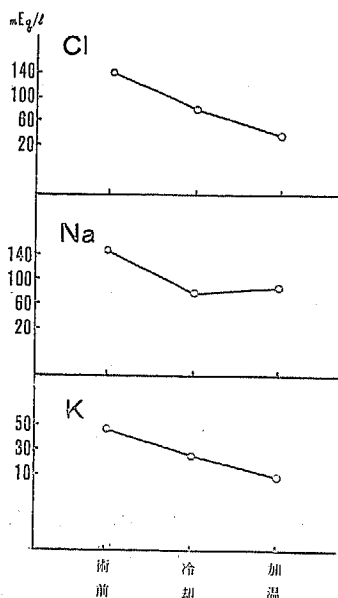


図5 尿中電解質の変動
(低体温・非補正例30例の平均値)

最後に低体温中の末梢循環について検討すると、末梢循環は従来は主として脳波により管理されていたが、脈波計の導入により、その状態の把握は一層容易となった¹⁶⁾。図6のごとく、冷却過程において末梢循環良好な場合には、体温 26°C 前後においても脳波お

よび脈波はよく保たれている。一方、加温過程においては体温 25°C においては、図7のごとく脳波は未だ出現せず、30°C 前後において出現するのが通常であ

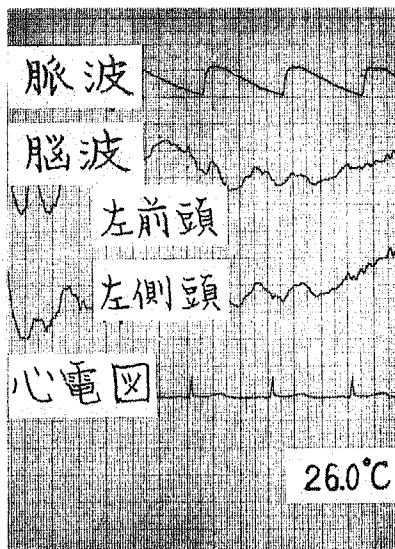


図6 冷却時の脈波、脳波および心電図

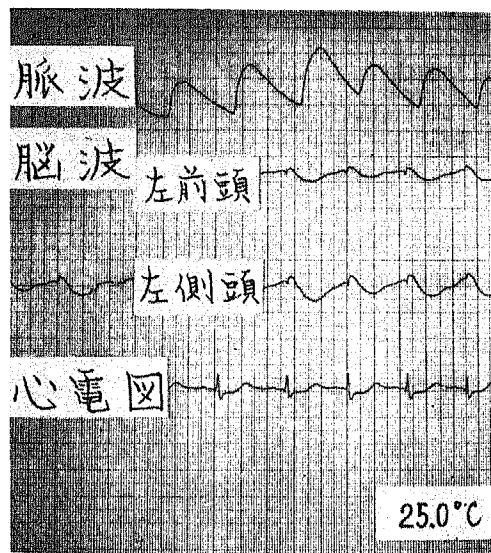


図7 加温時の脈波、脳波および心電図

条件
 EEG { monopolar
 { 50mV = 7mm
 EKG { 第II誘導
 { 1mV = 10mm
 Speed 2.5cm/sec
 1目盛 = 1mm

るが、脈波はすでに脳波に先行して出現し、末梢循環の状態をよく反映している。

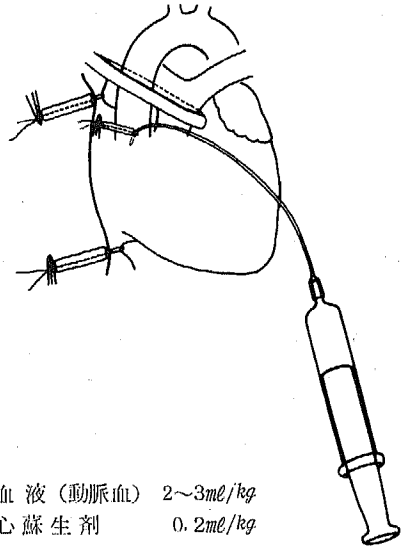
Ⅲ 心蘇生の問題点について

本法における最も重要な問題点は遮断解除後の心蘇生であり²⁾¹⁰⁾、心蘇生の如何によって本法による手術の成否が決定されるわけである。心蘇生を左右する因子としては、(1) 血流遮断前の循環状態、(2) 最低温と血流遮断時間の問題、(3) 的確な心内操作、(4) 用手心マッサージの手技、(5) 術前の心筋障害の有無、(6) 低体温に起因する代謝性アシドーシス、などが挙げられる。

血流遮断前に良好な末梢循環が保たれていないと組織の Hypoxia を来たし、遮断解除後に心蘇生が悪く、また術後の脳障害¹¹⁾を合併しやすい。そこで我々は麻酔中に心電図、脳波、脈波、血圧などを監視し患者の末梢循環状態を良好に保つよう心掛けている。また先にも述べたごとく、最近我々は冷却 30°C おいてステロイドを大量に投与することにより冷却 25°C を過ぎても良好な末梢循環状態を得ている。最低温と血流遮断時間の限界については、施設により多少の差はあるが、本法における最大の欠点は血流遮断時間に制限があることである。したがって、術前の正確な診断のもとに目的とする温度まで冷却し、その遮断許容時間中に的確に心内操作を終了させなければならず、当然熟練した手術手技が要求されるわけである。しかし将来は麻酔、自律神経遮断剤、輸液などの検討によってさらに血流遮断時間は延長できるものと考えられる。術前の心筋障害は当然心蘇生を困難にするため、できる限り術前に的確に察知し適切な処置を行なっておくことが望ましい。低体温中の代謝性アシドーシスの問題については先にふれたごとく、ほとんど放置して差しつかえないと考えられるが、高度の場合には冷却中の末梢循環障害および心蘇生時の洞調律の遅延をきたしやすいため補正を行なう必要がある。

最後に心蘇生の一番の問題点である用手心マッサージの手技について考察すると、この手技の良否は明らかに心蘇生を左右し、さらに心筋障害のある場合には、心筋トーマスの増加が得難く、容易に心室細動に陥り、さらに長時間の心マッサージと頻回の電氣的除細動は心筋の損傷を招き、心蘇生をますます遅延させ心蘇生を困難にする危険性がある。当科における単純超低体温下開心術 195 例の心蘇生の状態について検討すると、心蘇生不能例は 2 例のみで、小児では電氣的

除細動はほとんど不要であった。心マッサージ時間では成人で平均 16 分であるのに対し、小児では平均 5 分で年長者ほど心蘇生困難な症例が多いという結果を得ている。以上のように、症例により心蘇生に難易があり、また心マッサージの巧拙により心蘇生時間に差ができることから、最近我々は従来の用手心マッサージに代って図 8 のごとく、大動脈起始部に心蘇生剤と酸素加血液を注入する用手パンピング式冠灌流法¹⁰⁾を行ないきわめて容易に心蘇生を得ている。



血液 (動脈血) 2~3ml/kg
心蘇生剤 0.2ml/kg

図 8 パンピング式冠灌流法

Ⅳ 低体温法と体外循環の併用

低体温法においては冷却過程、血流遮断時間、心蘇生などの点について今迄言及してきたように未解決の問題点が残されている。そこで最近では用手心マッサージあるいは用手パンピング式冠灌流では心蘇生に問題が予想されるもの、また、あらかじめ心蘇生を体外循環に頼らねばならないと考えられる複雑心奇型を有する症例で、手術に長時間を要すると思われるものでは、低体温法と体外循環の併用が考えられるようになってきた。したがって表面冷却・体外循環併用法を用いることにより、単純超低体温法による数々の利点を生かし、また欠点とされている心蘇生および血流遮断の限界などの問題を体外循環により補ない、重症心疾患の開心術をより安全にかつ積極的に行ないうることになってきた。従来、体外循環冷却 (中心冷却) により超低体温にしたうえで、血流遮断下に開心術を行な

う方法があるが、この方法は温度勾配も大きく、また冷却の条件により同一温度でも血流遮断の許容時間に著しい差があり、また急速冷却にするため Vasoconstriction が強く、血液粘稠度も高まり、Sludging を誘発し、とくに幼小児では脳の重篤な低酸素状態が発生するといった理由でこの中心冷却そのものを Björk¹⁸⁾らが批判して以来現在は余り行われなくなった。

表面冷却・体外循環併用法の原理は、冷却は表面冷却と中心冷却の両者を併用し、血流遮断下に心内操作を加え、終了と同時に体外循環にて心蘇生およびある程度の加温を行ない、以後は体外循環を中止させ表面加温を追加する方法である。本法については、すでに堀内¹⁹⁾、松本²⁰⁾らの報告があるが、我々の方法について述べると、あらかじめ表面冷却により約 25°C まで冷却したのち、体外循環により中心冷却を追加して目的とする温度まで冷却する。そこで、人工心肺の回転を停止し、血流遮断下に心内操作を加える。心内操作終了と同時に体外循環を再開し、心マッサージなしに心蘇生を得てから、ある程度まで復温する。ついで心搏動が充分回復したところで、体外循環を中止して以後は表面加温により復温する。図 9 は本法により開心術を施行した 13 才女子のバルサルバ洞破裂兼心室中隔欠損の術中記録である。この他、冷却は表面冷却および体外循環で、復温は部分体外循環で行なう方法²¹⁾などがある。

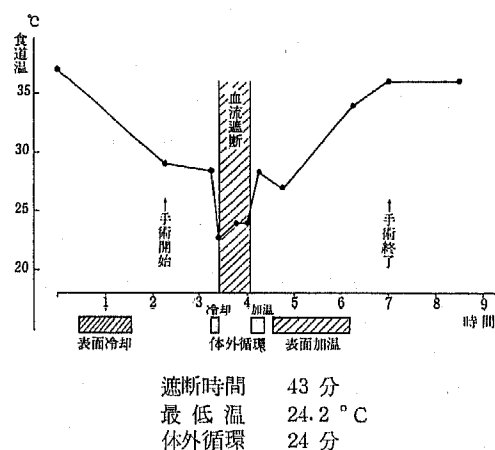


図 9 バルサルバ洞動脈破裂兼心室中隔欠損症の術中記録

池○礼○ 13才 ♀

おわりに

昭和40年1月から昭和47年1月までに第二外科教室で単純超低体温下開心術を施行した先天性心疾患 195 例について検討を行ない、単純超低体温法の適応、その実施法、病態生理の問題点、心蘇生法、および体外循環との併用などについて文献的考察を加えながらその現況を報告した。単純超低体温法は無血かつ静止視野で心内操作ができ、また術後反応が軽いため、安定した術後が得られるなどのすぐれた利点をもっている。また反面、血流遮断時間に制限があり、さらにまた、心蘇生の点で未解決の問題が残されている。しかし最近では体外循環との併用により、これらの欠点が補われ、乳幼児の開心術がより安全に行なわれるようになってきたことを強調したい。

文 献

- 1) 岡村 宏：心臓外科に対する単純超低体温法，日本医事新報（ジュニア版），53：3，1966
- 2) 岡村 宏，涌沢玲児，斎藤一彦，千葉 淳：超低体温麻酔下長時間心血流遮断後の心臓蘇生法に関する実験的，臨床的研究，実験編Ⅰ，Ⅱ，臨床編Ⅲ，胸部外科，13：174—180，428—432，705—712，1960
- 3) 山村秀夫：各科麻酔の実際，P. 384，医学書院，東京，1961
- 4) 岡村 宏：単純超低体温による開心術，外科，32：830—832，1970
- 5) 山下淳平，岡村 宏，松岡淳夫，相楽恒俊：5才未満症例の開心術における単純超低体温の適応について，日胸外会誌，18：674—683，1970
- 6) 山下淳平，岡村 宏，中村常太郎，相楽恒俊：単純超低体温法による年長者開心術，胸部外科，25：8，585—592，1972
- 7) 涌沢玲児，柴田茂治，斎藤春悦，千葉胤貞：単純超低体温麻酔による開心術 500 例の経験，麻酔，18：240—248，1969
- 8) 涌沢玲児：開心術に対する低体温麻酔の要点，胸部外科，25：5，322—329，1972
- 9) 瀬崎登志彰：麻酔時の血液粘稠度の変動，麻酔，16：860—861，1967
- 10) 橋本 勇：超低体温法における二，三の問題，日本医事新報，2525：16—20，1972
- 11) 山下淳平：Premedication に関する実験的ならびに臨床的研究，第Ⅰ編 実験的研究，第Ⅱ編 臨

- 床の研究, 日胸外会誌, 15 : 1103-1112, 1213-1229, 1965
- 12) 岡村 宏, 細井信夫, 涌沢玲児, 斉藤一彦: Pre-medication としての Atarax の効果, 新薬と臨床, 15 : 537-546, 1966
- 13) 江口昭治, 青木英一郎, 星野邦夫, 寺島雅範: 開心術における副腎皮質ステロイド大量投与 - 実験的ならびに臨床的研究 -, 胸部外科, 22 : 4, 262-269, 1968
- 14) 渡部高久, 原 智次, 中路 進, 小西理雄: 開心術とステロイド大量投与, 日独医報, 17 : 2, 281-287, 1972
- 15) Waddel, W. G. & Bigelow, W. G. : Improved management of clinical hypothermia based upon related biochemical studies, Ann, Surg., 140 : 542-562, 1957
- 16) 篠崎 拓: 心臓手術, 術中, 術後の指尖容積脈波の推移, 胸部外科, 25 : 6, 428-433, 1972
- 17) 西川孝戒, 新津勝宏, 安井 豊, 村井正元: 低温開心術後の脳障害発生病例に関する考察, 胸部外科, 24 : 467-477, 1971
- 18) Viking Olov Björk & Gösta Hultquist : Contraindications to profound hypothermia in open-heart surgery, J. Thorac. Cardiovasc. surg., 44 : 1-13, 1962
- 19) 堀内藤吾, 石戸谷武: 乳児開心術の適応と術後管理, 心臓, 2 : 606-615, 1970
- 20) 松本昭彦, 井出 研, 佐藤 順, 近藤治郎: 表面冷却・体外循環併用法による超低体温下開心術 - 単純超低体温法による脳神経障害とその防止法 -, 24 : 4, 229-234, 1971
- 21) Brian G. Barratt-Boyes, Trevor T. Nicholls, Peter W. T. Brandt, John M. Neutze : Aortic arch interruption associated with patent ductus arteriosus, ventricular septal defect, and total anomalous pulmonary venous connection, J. Thorac. Cardiovasc. Surg., 63 : 3, 367-373, 1972

(1973. 6. 12 受稿)