

4. 低体温と不整脈

涌沢玲児*

1953年 Lewis & Taufic らにより人類史上初の開心術の栄光に輝いた低体温麻酔(以下低体温)は、その欠点とくに体温低下に伴う心の被刺激性増加、制御困難な重篤な不整脈、心室細動発生により、一時開心術の麻酔方法として顧みられなくなった。

しかし低体温下開心術は人工心肺によるそれと比較し多くの利点を有することより合併症とくに不整脈、心室細動防止のため先人達の多くの努力にかかわらず満足すべき成果がえられなかった。

著者らは1958年教室開講以来安定した低体温をうるべく膨大な基礎研究により麻酔管理法、とくに麻酔薬の選択、麻酔補助薬の併用、麻酔深度の調節により重篤な不整脈などの合併症もなく安定した経過で20℃前後まで冷却可能なことを証明し1959年来臨床に応用し、今日まで約1,500例の各種開心術に適応しほぼ満足した成績をえている^{1,2)}。

これを楔機とし低体温が再認識され、とくに新生児、乳幼児の開心術にわが国はもちろん欧米各国でも低体温が適応され優れた成績が報告されるようになった^{3,4)}。

表面冷却低体温下開心術は人工心肺と異なり麻酔中終始病的心に循環を頼らざるをえない。したがって麻酔中安定した循環動態をうる事が大切であるが、手術の対象となる心疾患の病態より不整脈の発生を皆無にすることは困難である⁶⁾。

著者は本稿で最近教室で管理した低体温下開心術300例の成績を中心に低体温と不整脈について述べる。

症 例

1976年1月より1982年11月迄の各種先天性疾患300例を対象とした。

VSD (PHを含む)が半数以上を占め、TF, ASDが次いで多い。年齢分布は5歳以下が70%を占め、最年少は2カ月、最年長は17歳である(表1)。

表1. 疾患と不整脈発生率

症 例	症例数	不整脈	不整脈発生率	心停止	心停止発生率
VSD	125	11	8.8	2	1.6
VSD+PH	48	11	22.4	4	8.3
VSD+ASD+PH	2	1	50.0		
VSD+PDA+PH	1	1	100.0	1	100.0
ASD	37	5	13.5		
ASD+PH	1				
ASD+MI+PH	1	1	100.0		
ASD+PS	4	1	25.0		
TF	40	10	25.0	1	2.5
ECD	11	1	9.1	1	9.1
PS	16	1	6.3		
TAPVD	4				
TGA	3				
Others	7	1	14.3	1	14.3
TOTAL	300	44	(%) 14.7	10	(%) 3.3

麻酔方法は教室の開発した大量自律神経遮断薬併用 ether 深麻酔下に氷水槽浸漬による表面冷却で、最低体温を予想血流遮断時間に対する至適体温で全例25℃以下である。加温は42℃温水槽に浸漬する表面加温法である⁵⁾。

* 岩手医大医学部麻酔科

麻酔中の循環動態は心電図第Ⅱ誘導、直接血圧で観察し、同時に脳波を monitor し、原則とし麻酔導入直後、冷却前、冷却30℃、25℃、血流遮断前、後加温25℃、30℃、35℃（加温終了）に記録したが、異常発生時にはその都度記録、chartより解折を行った。なお体温はすべて食道温で表示した。

心内操作終了心蘇生直後は多彩な不整脈がみられるが、加温による体温上昇とともに循環動態は安定し、25℃以上となるとほとんど不整脈はみられないが、一部に手術の影響によりA-Vblockなどの不整脈が残ることがあるが、今回は低体温の影響を検定するため、復温過程の解析は行わず、冷却過程のみを対象とした。

低体温時の心電図の変化

体温低下とともに pacemaker の抑制、刺激伝導系の伝導速度の減少などより心拍数は直線的に減少し、体温20℃では冷却前の約35%となる。低体温時の徐脈は isometric, isotonic contraction phase および isometric relaxation phase がともに延長するか、とくに isometric relaxation phase の延長⁷⁾が著しく、心電図上P波、PR、ST、RR時間、QRS complex が延長するがとくにQT時間の延長が著明である。低体温時の心電図の変化は復温により正常に復帰する(図1)。

低体温時の心電図上特異な所見としてJ波⁸⁾と呼ばれる波型と交互脈がある。J波はST segmentにみられ、心筋の hypoxia による current injury で心室細動の前徴で危険 sign のひとつとされたが、心筋の乳酸値の側定より心筋 hypoxia は否定されている。今回の検索でも10例に体温25.3±2.5℃(30~23.2℃)にJ波が出現したが、9例

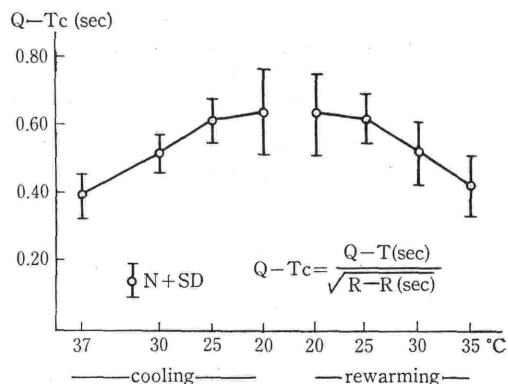


図1. 冷却に伴いQTintervalが延長し20℃では冷却前の1.6倍となる。

は他に異常なく、特別な処理も必要とせず平均21.6±1.0℃まで冷却、開心根治手術に成功している。冷却30℃でJ波出現の1例No. 1189(TF)は22.1℃にAV-dissociationが出現したが、そのまま20.3℃まで冷却、46分の血流遮断下に根治手術が行われ、J波出現の10例全例は復温過程は安定し30±2.3℃でJ波が消失しており、J波の心筋 hyjoxa は否定しうるものと考えられる(図2)。

交互脈⁹⁾は電氣的 (electrical) と機械的 (mechanical) があり、前者は心電図上P波、QRS、T波などの形態や振幅が規則的に変化し血行動態の変動は伴わない。後者は血行動態の変動を伴うものである。交互脈の出現は常温では心筋の異常を示し重篤な sign とされているが低体温時ときどきみられる。今回の検索でも19例(16.3%)に25.5±2.1℃(31~22.9℃)に出現したが、特別な処置を必要とせず、循環動態の異常もなく22.0±1.1℃(3.3±18.9℃)まで冷却し、開心根

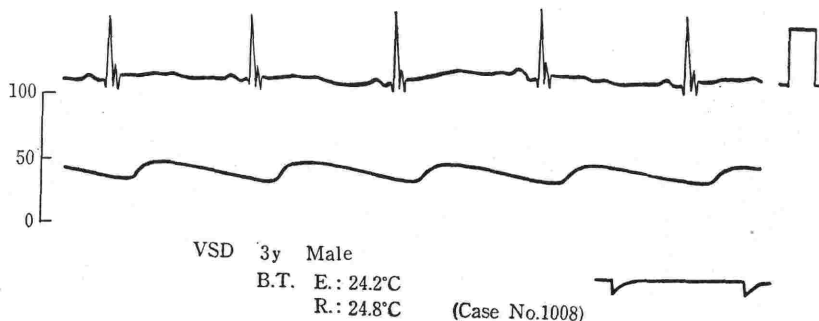


図2. J波の1例 復温30.5℃で消失

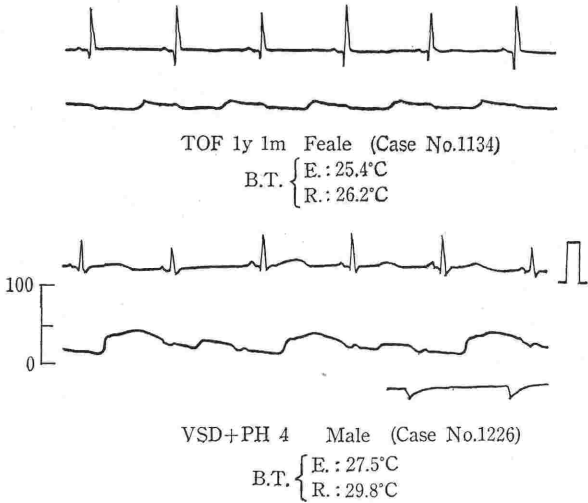


図 3. 電氣的交互脈 (上段) および機械的交互脈 (下段)

治手術に成功、復温過程も安定しており、低体温時の交互脈は、常温と異なり異常 sign とは考えられない(図 3)。

以上の事実より今回の対象より J 波および交互脈は不整脈の範疇より除外した。

不整脈発生頻度

300 例中44例 (14.7%) に何らかの不整脈が発生した。

疾患別では症例数が10例以下のものを除くと TF が40例中11例25%と最も高率で、次いで VSD+PH が22.4%、ASD が13.5%の順で、症例のもっとも多い VSD は8.8%であった(表 1)。

不整脈発生体温は30℃以上で発生したものは3例 (4.9%) でいずれも重篤な心停止に移行してい

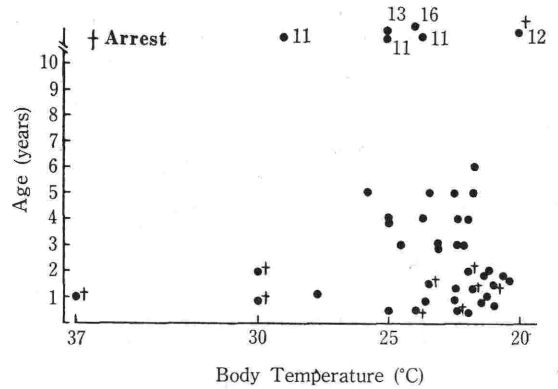


図 4. Correlation between age and body temperature concern with arrhythmia during hypothermia

る。大部分38例86.4%が25℃以下の体温に発生しているが心停止例を除き特別な処置を必要とせず、そのまま冷却を続け、開心根治手術を行い、小数例を除き心拍再開も容易にえられ、加温過程も不整脈非発生群と差はなく安定した経過がえられた(図 4)。

年齢と不整脈についてみると10歳以上に高率の傾向がみられた(表 2)。

表 2. 年齢と不整脈

年 齢	症例数	不整脈発生数	不整脈発生率	心停止発生数	心停止発生率
~ 1	65	8	12.3	4	6.2
1~ 4	160	25	15.6	5	3.1
5~ 9	51	8	11.6		
10~	24	5	20.8	1	4.1
TOTAL	300	44	14.7(%)	10	3.3(%)

表 3. 不整脈の種類

	浅麻醉	手術	不明
Atrial Fibrillation	8	6	2
Supraventricular Extrasystole	8	3	2
Ventricular Extrasystole	8	2	4
A-V Dissociation	3	2	1
A-V Block	3	2	1
Nodal Rythm	2	1	1
Bigeminy	2	1	
Cardiac Arrest			
Stand Still	3	2	
Severe Bradycardia	4	2	
Ventr. Fibrillation	3		

表 4. 心 停 止 例

	症例 No.	年 齢	Card. Defect	心停止 時体温	原 因	蘇 生	最低温	循環停止 時 間	蘇生 時間	転 帰
	1004	2.2 Y.	TF	22	手 術	Yes	20.0	45	10'	生
Stand Still	1135	12 "	VSD+PH	20	"	Yes	18.8	56	40'	生
	1177	8 "	VSD+PDA +PH	30	ether 急速吸入	No				死
	1100	2 "	ECD 111	22	不 明	Yes	21.0	20	30"	死 第1病日 LOS
Severe	1128	6 M	VSD+PH	24	手 術	Yes	22.0	45	60'	生
Bradycardia	1216	6 "	VSD+PH	22.4	不 明	Yes	22.0	21	30'	生
	1285	1.5 Y	VSD+PH	21	手 術	Yes	21.0	52	10"	生
Ventr.	1036	1.5 "	VSD	22	Micro shock	Yes	21.9	18	10"	生
Fibrillation	1087	2 "	VSD	30	Iso*	Yes	21.9	55	30"	生
	1121	1 "	Complex CHD	37°C	麻醉導入	Yes	21.5°C	40Min.	8'	生

*Isopreterenol

不 整 脈 の 種 類

Monitor は第Ⅱ誘導のみであり、高率に発生する25°C以下では手術の影響が加わり、不整脈を分類することが困難なことが多いが、上室性、心室性期外収縮、心房細動が多い傾向にあった(表3)。

心停止：心動停止(stand still) 3例、高度の徐脈(severe bradycardia) 4例、心室細動(ventricular fibrillation) 3例であった。

Stand still について、3例の発生がみられたが、No. 1177 (VSD+PDA+PH) は麻醉導入時の低血圧と nodal rhythm が回復しないまま30°C迄冷却時徐脈と低血圧が増悪し心停止に移行し、各種の蘇生を試みるも回復せず死亡した。この例はPp/Ps が1.0と肺高血圧が著しく不用意な麻醉導入が原因と考えられ反省すべき例であった。No. 1004(TF) および No. 1135(VSD+PH) はそれぞれ20°C, 22°Cに手術操作が原因で徐脈より心停止に移行、短時間の蘇生操作により容易に回復し根治手術を施行、蘇生および復温過程は安定した経過をえた。

Vent. fibrillation は3例で No. 1036 (VSD) は安定した冷却過程で24°Cで冷却を中止したが、胸骨切断時電動式骨切断器よりのもれ電流が原因で細動に移行。No. 1087 (VSD) は30°Cに血圧低

下に不用意な isopreterenol 投与を契機として細動に移行したがいずれも容易に蘇生しそれぞれ22.5, 21.9°Cに開心術を行い以後安定した経過をえた。No. 1121 (complex CHD) は麻醉導入時に低血圧に引き続き細動に移行したが蘇生し、21.5°C迄冷却40分の開心術を施行、安定した復温過程をえている。

Severe bradycardia は4例で内2例 No. 1128 (VSD+PH), No. 1285 (VSD+PH) は手術操作が原因で発生したがいずれも根治手術に成功している。他の2例中No. 1216 (VSD+PH) 冷却前より低血圧が持続し22.4°Cで高度の徐脈となり、心停止と判断蘇生操作を行ったのち開心術を行い以後安定した経過をえた。No. 1100 (ECD)は32.8°CでSTの低下、低血圧となり、22.0°Cで高度の徐脈となり、臨床的な心停止とし蘇生後、21.6°Cで20分の開心根治手術を行ったが術後低心拍症候群となり、第1病日に失った。

麻 醉 深 度 と 不 整 脈

麻醉深度と体温の不均衡が不整脈の原因となることがしばしばみられる。今回も16例(36%)に $23.1 \pm 2.1^\circ\text{C}$ (29.4~21.0°C) に麻醉深度の不適切が原因で不整脈が発生している。麻醉深度の適正化により不整脈は消失し $21.7 \pm 1.2^\circ\text{C}$ (23.5~20°C) で 32 ± 18 分(64~11分)の血流遮断下に根治

手術に成功、蘇生も30分を要した1例を除き短時間で成功し、復温過程は安定した経過をえた。30分と長時間蘇生を要した例は No. 1149(TF) で 23.6℃ 血圧60/25mmHg で心房細動に移行し、麻酔深度の適正化で洞調律になり、20.4℃で56分の血流遮断下に根治手術を施行、蘇生に30分を要し以後安定した経過をえた。

25℃以上の比較的高い体温での発生例は No. 1002, No. 1023(いずれも VSD) および No. 1019 (TF) はいずれも麻酔が浅いため、それぞれ心房細動、Av-block が発生したが麻酔深度の適正化でいずれも洞調律に復帰し以後安定した経過をえている。

術後は 23.7℃ で心房細動に一時移行した TF (No. 1291) を腎不全のため第3病日に失った以外安定した経過をえている。

手術操作と不整脈

心の精査の目的で心の脱転、挙上により急激な血圧低下とともに各種の不整脈が出現する。12例に発生しているが、手術操作の中止により容易に不整脈は消失し、循環動態は回復するが、前述のごとく4例が心停止に移行しており慎重な手術操作が必要とする。

他の10例は不整脈の原因を明らかにすることはできなかったが、体温 $23.5 \pm 1.4^\circ\text{C}$ ($25 \sim 21.3^\circ\text{C}$) で発生したが全例特別な処置を必要とせず $21.4 \pm 1.4^\circ\text{C}$ ($23.4 \sim 18.8^\circ\text{C}$) の最低温で $37'30'' \pm 17'00''$ ($7'30'' \sim 13'00''$) の血流遮断下に根治手術を行い後述の1例を除き短時間の蘇生で心拍再開し、復温過程は安定した経過がえられた。蘇生に難渋した例は No. 1141(TF) で、 22.4°C で心室性期外収縮散発し、 18.8°C の最低温で $71'30''$ の血流遮断を行ったが、蘇生に $1^\circ30'$ を要した。心拍再開後も低心拍状態が持続し、第5病日に循環動態が回復しないまま死亡した。

他の9例の術後は安定した経過であった。

考 案

低体温時に発生する不整脈は心房粗動、心房細動、上室期外収縮、心室性期外収縮や、房室 block のほか致命的な心室細動の発生が報告されている。とくにその発生は体温 28°C 以下で頻度が

高く危険域とされ低体温の臨床応用に制限が加えられた。不整脈とくに心室細動発生の原因について local block 説, multiple firing 説, re-entry 説など多くが提唱されているが、なお明確に原因を指適するものがみられない。また促進因子として hypoxia, acidosis, 電解質不均衡, 心筋負荷増大, CVP 上昇などが挙げられ、麻酔に関して深麻酔を避けるべきと強調されている。

不整脈防止に関しても多くの試みがある。すなわち, procain による sinoauricular block, neostigmine による冠灌流, trimetaphan による神経節 block, bilateral sympathetic denervation, 抗ヒスタミン剤の投与などが試みられたが、決定的な方法がえられなかった。

著者らは麻酔管理法の改善で不整脈はもちろん心室細動防止が可能であることを証明し臨床に応用し満足すべき結果をえている。図5は各種麻酔方法による低体温時の心室細動閾値の推移であるが、著者らの方法の自律神経遮断薬併用 ether 深麻酔下低体温では体温低下とともに閾値が上昇するに反し、他の麻酔方法では体温低下とともに閾値が低くなり、著者らの麻酔方法の抗不整脈効果が明らかである。しかし抗不整脈作用の原因は明らかでない。

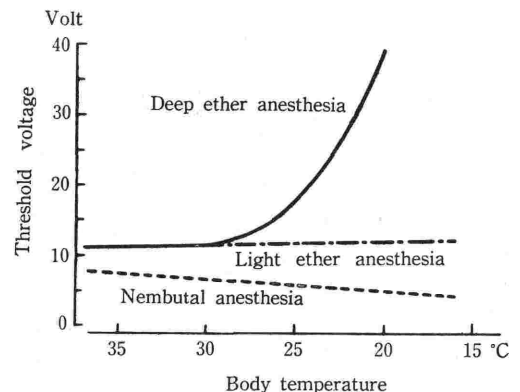


図5. Threshold of ventricular fibrillation during hypothermia

開心術の対象は本来心に病変を有し、しかも麻酔中終始循環を病的心に頼らざるをえず著者らの方法でも不整脈を皆無にすることは困難で、今回の検索でも14.7%に何らかの不整脈が発生している。とくに重篤な心停止は3.3%に発生している。心停止の原因についてみると2例の麻酔導入の失

敗, microshock の 1 例, 手術操作が原因と考えられるもの 4 例で, 低体温に原因を求められものは 3 例であった. 低体温時の catecholamine の使用は注意が必要で本検索でも isopreterenol 投与を契機として細動に移行した 1 例があり, 著者らは以前にも 2 例の catecholamine が原因で細動に移行した経験を有する. 心停止 10 例中 1 例を除き容易に蘇生し, 冷却を加え低体温下開心術に成功し, 著者らの方法では心停止に関し解決しえたものと考えている.

心停止を除く不整脈の大部分は 25℃ 以下の体温で発生しており, 16 例が麻酔深度が浅いためと考えられ麻酔深度の適切化により洞調律に復帰している. 著者らは完全な閉鎖循環式回路により ether 麻酔を行い 25℃ 以下の体温では 2.5~3.0ml/kg の ether 投与が必要であると考えているが, 麻酔回路のもれなどより臨床所見より適宜 ether 投与量を調節することが必要であり, 血圧, 脈拍などの循環動態, 脳波などを参考にする. すなわち体温に即応しない高い血圧, 頻脈, 脳波波型な

どはその指標として有力な情報を提供する. 図 6 は 22.3℃ で血圧 65mmHg (理想血圧 45mmHg), 25℃ 以下で消失すべき脳波の存在より不整脈の原因を浅麻酔と判断 triflupromazine の投与と ether 吸入により麻酔深度の調節により不整脈が消失した 1 例である. 低体温時の不整脈は麻酔深度を深くすることにより消失することより中枢性の不整脈であろうと推察している¹⁰⁾.

図 7 は, 低体温冷却過程の血行動態¹¹⁾である. 体温低下に従い右心系の後負荷が増加し, 血行動態図が右下方に移動する, このため心の粗暴な取扱いは心の負荷, ことに右心系の負荷が増し容易に循環動態が破綻することが推察される. 手術操作が原因と考えられる 12 例の不整脈の発生は低体温時繊細な手術操作の必要なことを示唆するものといえよう.

44 例中 10 例は不整脈の原因を明らかにすることができなかったが, これらを含め 1 例を除き, 麻酔深度の適正化以外特別な処置を加えることなく更に冷却を加え予想血流遮断時間の至適体温まで

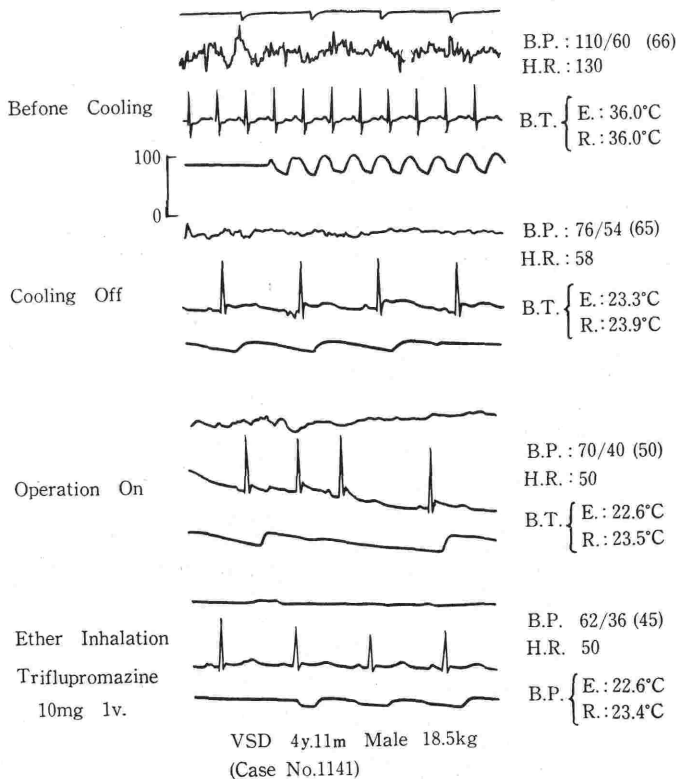


図 6. Effects of ether and triflupromazine to arrhythmia during deep hypothermia

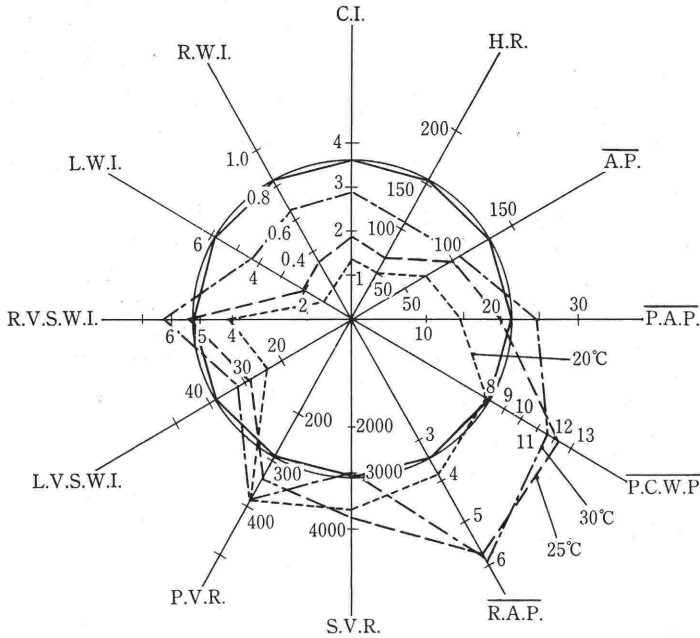


図7. 低体温時の血行動態図(冷却過程)
体温低下に伴い右下方に移動

冷却し、根治手術に成功しており危険な且つ制御不能な不整脈が発生はみられず、著者らの低体温法は安全な方法といえよう。

文献

- 1) Wakusawa, R., Shibata, S. and Okada, K.: Simole deep hypothermia for open heart surgery in infancy. *Canad. Anaesth. Soc. J.* **24**:491~504, 1977.
- 2) 涌沢玲児, 柴田茂治, 西尾四郎, 枋内秀彦, 川原郁子, 奥口修司, 西沢信枝, 高田良子, 石田みどり, 岡田 弘: 乳幼児開心術に対する低体温麻酔. *麻酔* **26**:895~902, 1977.
- 3) Subramanian, S. and Wegner, H.: Correction of transposition of the great arteries in infants under surface-induced deep hypothermia. *Ann. Thorac. Surg.* **16**:363~373, 1972.
- 4) Rittenhouse, E. A., Mohri, H., Dillard, D. H. and Merendino, K. A.: Deep hypothermia in cardio-

vascular surgery. *Ann. Thorac. Surg.* **17**:63~95, 1974.

- 5) 涌沢玲児: 低体温麻酔: 稲田 豊 編: 新麻酔科学. 医歯薬出版, 東京, 189~214, 1982.
- 6) 岡田一敏, 枋内秀彦, 西尾四郎, 高田良子, 岡田弘, 千葉健一, 涌沢玲児: 低体温麻酔時にみられる異常心電図とその対策. *臨床麻酔* **4**:85~91, 1980.
- 7) Penefsky, Z. J.: Effects of hypothermia and stretch on contraction and relaxation of cardiac muscle. *Am. J. Physiol.* **214**:730~736, 1968.
- 8) 柴田茂治: 超低体温時における心停止とその蘇生. *日胸外会誌* I編 **15**:564~573, 1967. II編 **15**:627~640, 1967.
- 9) Bellet, S.: Clinical disorders of the heart beat. : Alternation of the heart. Lea & Febrieger, Philadelphia. p. 551~565, 1967.
- 10) Pulpura, D.P., Pool, J.L., Housepian, E.M., et al.: Hypothermic potentiation of centrally induced cardiac irregularities. *Anesthesiology* **19**:27~37, 1958.
- 11) 岡田 弘: 単純低体温麻酔時の循環動態の研究. *麻酔* **29**:888~898, 1980.