

## 대동맥류 수술시의 초저체온법 및 완전순환차단에 관한 임상고찰

백 완 기\* · 안 혁\*

### —Abstract—

### Profound Hypothermia and Circulatory Arrest for Aneurysm Surgery

Wan Ki Baek, M.D.\*, Hyuk Ahn, M.D.\*

From January 1988 to December 1990, 18 adult patients with aortic disease underwent surgical repair using hypothermia and total circulatory arrest. The age at operation ranged from 17 years to 64 years(mean  $45.2 \pm 10.7$  years).

The disease entities included aortic dissection in 12, aortoannuloectasia in 3 and thoracic aortic aneurysm in 3 cases. Partial cardiopulmonary bypass via femoral vessels along with surface cooling was used upon the induction of deep hypothermia( $18\text{--}20^\circ\text{C}$ ).

Modified Bentall operation was performed in 7 cases, ascending aorta replacement in 6, graft interposition in descending thoracic aorta in 3 and others in 2 cases. The circulatory arrest was maintained for periods of 2 minutes to 86 mimutes(mean  $34.7 \pm 5.0$  minutes).

Overall hospital mortality was 27.8%(5/18) : brain damage was responsible for the death of 2 patients. 4 patients out of 13 survivors experienced postoperative neurologic dysfunction, which was proved to be self-limited except one case showing left hemiparesis.

12 patients were followed up postoperatively with the mean follow-up period  $22.7 \pm 10.1$  months. There was no death. No new neurologic problems were observed during follow-up period. All but one patient showing recurrent dissection and aortic regurgitation are in excellent clinical condition.

These clinical data suggests that the principle of deep hypothermia and total circulatory arrest can be applied rather safely in adult patients, especially in the treatment of patients with aortic disease, it can be a valuable adjunct with better clinical results.

### 서 론

\*서울대학교 의과대학 흉부외과학교실

\*Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, College of Medicine, Seoul National University Hospital

\*\*본 논문은 1991년 제23차 추계 흉부외과 학술대회에  
구연되었음.

\*\*\*본 논문은 1990년 서울대학교 병원 임상연구비의 일부 보조에 의함.

일찌기 Bigelow 등<sup>1,2)</sup>이 동물실험을 통하여 예견하였듯이 초저체온 및 전순환정지기법(Deep hypothermia and total circulatory arrest)은 인공 심폐기의 발달과 더불어 심장수술에 널리 이용되기 시작하였으며, 무엇보다도 안정된 수술시아를 확보할 수 있다는

점에서 그 적용영역의 폭을 넓혀오고 있다.

대동맥 질환은 신속한 외과적 치료를 통하여서만 생명을 건질 수 있는 경우가 대부분이나, 수술이 용이하지 않으며 또한 술후 사망률 및 유병율이 높아 적절한 수술기법에 대해 많은 논란이 있어왔다. 저자들은 1988년 이후 성인연령에서의 대동맥 질환 수술에 체외 순환을 통한 초저체온의 유도 및 전순환정지 기법을 사용하기 시작하였는 바, 금번 이 적용 예들을 대상으로 임상분석을 시행하여 대동맥 질환의 외과적 치료의 향상을 꾀하고자 하였다.

### 대상 및 방법

1988년 1월부터 1990년 12월까지 심저체온 및 전순환정지 기법을 이용하여 수술한 성인 대동맥질환 환자 18례를 대상으로 하였다. 남자 12명 여자 6명이었으며 수술시 연령은 17세에서 64세 사이로 평균  $45.2 \pm 10.7$  세였다.

환자들의 진단명을 보면 대동맥 박리증이 12례로 가장 많았고, 대동맥 판류확장증이 3례, 상행 대동맥류가 2례, 하행 대동맥류가 1례의 순이었다. 전체 환자 중에는 4례에서 Marfan 증후군이 동반되어 있었으며 동맥류 환자 중 2례는 매독성으로 진단되었다. 대동맥 박리증 환자 12례 중 급성 박리증이 8례, 만성 박리증이 4례였다(표 1).

급성 박리증 8례 중, DeBakey type I 박리증이 6례, type II가 1례, Type III에 역학 박리증(retrograde dissection)이 1례였고, 만성 박리증은 Type I 및 Type III가 각각 2례로, Type I 박리증이 대부분을 차지하였다. 급성 Type I 박리증 환자 중 2례에서 수술시 심장 압전(cardiac tamponade)이 합병되어 있었으며, 만성박리증 중 1례는 상행 대동맥의 박리증으로, 수술후에 박리가 하행 대동맥으로 재발된 경우였다(표 2).

**Table 1. Disease Entities(I)**

	n
Aortic dissection	12
Aortoannuloectasia	3
aAo aneurysm	2
dAo aneurysm	1
Total	18

**Table 2. Disease Entities(II)**

	Acute Dissection	Chronic Dissection
Type I	6 ***	2
Type II	1	0
Type III	1 *	2 **
	8	4

\* Retrograde dissection

\*\* Recurrent dissection in 1 case

\*\*\* Cardiac tamponade combined in 2 cases

**Table 3. Operative Procedures**

	n
mod Bentall op	7
aAo replacement	
W / or W /O AV resuspension	6
Graft interposition, dAo	3
Others	2
Intraluminal ringed graft, dAo	1
Aneurysmectomy & on lay patch	1
Total	18

수술은 7례에서 변행 Bentall 술식(Cabrol's modification)을 시행하였으며, 6례에서 인조도관을 이용한 상행 대동맥 대체술(ascending aorta replacement)을 시행하였고, 하행대동맥에 인조도관 개재술(graft interposition)을 3례에서, 그 외에 상행 대동맥의 낭상형 동맥류(saccular aneurysm)로, 동맥류 절제술 후 첨포를 대어준 경우 및, 하행 대동맥에 대동맥강내 보철윤관(intraluminal ringed graft)을 사용한 데가 각각 1례씩 있었다(표 3). 병행술식으로 상행 대동맥 대체술시 대동맥판 재현수(resuspension)을 같이해 준 경우가 3례, 좌측 쇄골하동맥이 완전히 떨어져나가 있어 좌측 쇄골하동맥의 원위부를 좌측종경동맥에 심고 좌측 쇄골하동맥 기시부부터 하행 대동맥에 인조도관 개재술(graft interposition)을 시행한 경우가 1례, 대동맥궁에 위치하는 내막열상(intimal tear)을 직접 봉합 수선(direct suture repair) 후 상행 대동맥 대체술을 시행한 경우가 1례, 술전 검사상 승모관 폐쇄부전이 의심되어 승모관 검사(mitral valve exploration)를 시행한 경우가 각각 1례였다(표 4).

수술은 체외순환하에서 표면냉각(surface cooling)과 중심냉각(core cooling)을 병행하여 비인두 체온

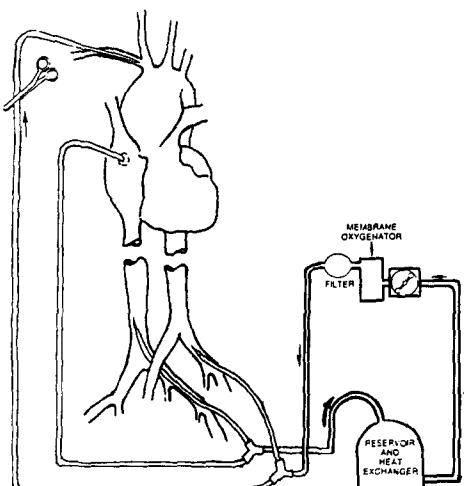
**Table 4. Concomitant Procedures**

AV resuspension	3
LScA to LCCA e to s anastomosis	1
MV exploration	1
Repair of intimal tear in arch	1
Total	6

(nasopharyngeal)을  $18^{\circ}\text{C}$ 에서  $20^{\circ}\text{C}$  사이까지 멀균 후 순환정지를 유도하였다. 냉각 및 가온시는 혈관 확장제를 충분히 사용하여 신체부위별 체온의 차이를 줄이고자 노력하였으며, 순환정지 유도 직전 Solumedrol 및 Pentotal sodium을 투여하여 뇌기능의 보호를 꾀하였다. 체외순환은 먼저 대퇴동맥 삽관(femoral artery cannulation)을 시행한 다음 개흉을 하고, 개흉 후 정맥선(venous line)을 우심방에 설치하여 완성하였다.

동맥류가 커서 개흉시 파열의 가능성성이 높거나, 박리가 어려울 것으로 예상되는 경우는 먼저 대퇴동정맥 우회로(femoro-femoral bypass)를 조성한 후 개흉을 하였으며 개흉 후 역시 정맥선(venous line)을 우심방에 추가로 설치하여 충분한 혈류량을 유지할 수 있도록 하였다.

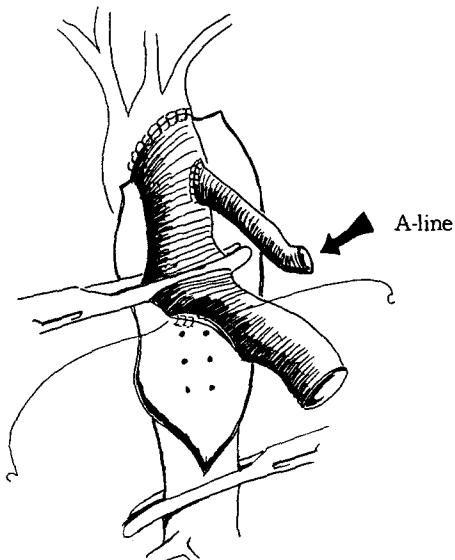
또한 체외순환을 통한 혈류방향이 역행성이기 때문에 체외순환 시작시에 뇌 혈류가 잘 유지되지 않을 경우를 대비하여 '89년 이후부터 대퇴부 박리시 우측 액와부 박리를 동시에 시행하여 액와동맥에 동맥선(arterial line)을 하나 더 조성하여 만일의 경우에 대비하였다.



**Fig. 1. Cardiopulmonary Bypass Circuit**

도록 하였다(그림 1).

병변이 하행대동맥에 있어 측위개흉(lateral thoracotomy)를 해야 하는 경우는 추가 정맥선을 주폐동맥을 통하여 우심실에 조성하였으며, 그림 2와 같이 측완(side arm)을 달아 근위부 문합이 끝나면 원위부에 혈관감자를 잡고 측완(side arm)을 통하여 관류를 시키면서 원위부의 문합을 진행하여, 순환정지 시간을 줄이고자 노력하였다.



**Fig. 2. Cerebral circulation is maintained through side arm during distal anastomosis**

## 결 과

전체 환자중 모두 5명이 사망하여 27.8%의 병원사망율을 보였다. 사망원인은 체외순환 이탈실패(cardiopulmonary bypass weaning failure)가 3례, 뇌손상이 2례였다.

환자들의 체외순환 시간은 평균  $241.9 \pm 49.9$ 분이었으며 이중 체외순환이탈이 불가능 했던 3례를 제외하면 110분에서 279분 사이로 평균  $169.0 \pm 10.7$ 분이었다. 병변이 하행 대동맥에 있어 심정지가 필요하지 않았던 4례를 제외하면 허혈시간(ischemic time)은 7분에서 134분 사이로 평균  $58 \pm 7.9$ 분이었다. 냉각시간은 평균  $47.2 \pm 3.2$ 분, 가온시간은 평균  $87.6 \pm 6.7$ 분이었으며 순환정지시간(arrest time)은 2분에서 최고 86분까지로 평균  $34.7 \pm 5.0$ 분이었는데 술후 신경기능이상을

보인 환자들을 제외하면 평균  $24.4 \pm 3.1$ 분으로 환자 전체의 평균과 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다( $p<0.05$ ).

술후 의식회복은 4시간부터 최고 20일까지였으며, 전체환자 중 술후 신경기능이상을 보인 환자들을 제외하면 4시간에서 6시간사이로 평균  $5.1 \pm 0.3$ 시간이었다.

생존례 중 4례에서 술후 신경합병증을 경험하였다(표 5). 의식회복이 지연되었던 경우가 4례, 정신증, 환각 또는 성격변화(personality change)를 보였던 경우가 2례, 발작(seizure) 또는 유사한 행동을 보인 경우가 3례로, 이중 1례를 제외하고는 모두 속발증(sequale) 없이 회복되었다.

**Table 5. Neurologic Cx among Survivors**

	Slow to wake up	Psychosis / hallucination	Twitching / convulsion	Sequale
Case I	0	x	0	none
Case II	0	0	0	none
Case III	0	x	x	none
Case IV	0	0	0	Lt weakness
Total	4	2	3	1

11례의 환자에서 11개월부터 43개월까지 (평균  $22.7 \pm 10.1$ 개월) 추적이 가능하였다. 만기사망은 없었으며, 추적기간 동안 새로운 신경이상도 발생하지 아니하였다. Type I 대동맥 박리로 상행 대동맥 대체술 및 대동맥판 재현수(aortic valve resuspension)를 시행한 환자 1례에서 대동맥 박리가 원위부로 진행하고 대동맥판 폐쇄부전이 재발되어 재수술을 계획 중에 있다.

술후 신경기능 이상을 보이지 않은 군의 평균연령은  $41.3 \pm 3.4$ 세, 신경기능 이상을 보인 군의 평균연령은  $53 \pm 4.2$ 세로 신경기능 이상이 없었던 군의 평균연령이 낮았는데, 이는  $p$  value 0.1의 수준에서 통계적으로 유의하였다.

사망 환자를 포함하여 전체 환자 중 신경기능 이상을 보인 환자는 6례로 33.3%를 차지하였는데, 이를 순환정지 시간별로 분류해 보았을 때 30분 이상 순환정지를 시켰던 환자 10례 중 5례에서 신경기능이 이상이 나타나 50%를 차지하였으며( $p<0.25$ ), 특히 45분 이상 순환정지를 시킨 환자 4례에서 모두 신경기능 이상을

보여 순환정지 시간이 길수록 신경손상 빈도가 높아짐을 시사하였다(표 6).

**Table 6. Arrest Time & Neurologic Dysfunction**

Arrest time	% (n)	P value
> 30 min	50.0 (5/10)	NS
> 45 min	100.0 (4/4)	< 0.05
Total	33.3 (6/18)	

## 고 안

1950년 Bigelow 등<sup>1)</sup>이 실험관에서 저체온 유도시의 생리적 변화를 기술하고 저체온의 유도가 향후 심장수술에서 차지하게 될 역할에 대해 예견한 아래를 심폐기의 발달과 더불어 저체온의 유도 및 유지는 심장수술에 필수 불가결한 부분이 되어 있다.

이후 체외순환을 통한 초저체온의 유도 및 전순환정지 기법(deep hypothermia and total circulatory arrest)은 영유아에서의 선천성 심질환의 수술에 먼저 이용되기 시작하였으며, 무엇보다도 안정된 수술시야를 확보할 수 있다는 점에서 그 적용영역의 폭을 넓혀왔다<sup>3~8)</sup>.

성인에서의 대동맥 질환에서는 Borst 등<sup>9)</sup>에 의해 심저체온 및 전순환정지 기법이 처음 이용되었으며, 현재 여러 대동맥 질환, 특히 대동맥궁에 병변이 있거나 대동맥궁이 병변에 포함되어 있는 경우의 수술에 널리 이용되고 있다<sup>10~17)</sup>.

일반적인 전 순환정지의 장점은, 첫째 무혈시야(bloodless field)를 확보할 수 있으며, 둘째 불필요한 혈관 감자나 카뉼라 등을 사용하지 않음으로 좁은 공간에서 비교적 넓은 수술시야를 확보하여 정교한 수술조작을 빠른 시간내에 가능하게 하여 주는 것이라 하겠으며, 그외에 순환정지 시간만큼의 체외순환 시간을 단축할 수 있는 잇점이 있다. 대동맥 질환에 있어서는 특히 불필요한 혈관감자의 사용을 피함으로 이미 동맥경화 또는 대동맥박리와 같은 병변이 진행되어 있을지도 모르는 대동맥에 더 이상 손상을 입히지 않으며, 인조도관과 대동맥간의 좀더 기술적으로 완전한 문합을 기대할 수 있으며, 멀리 원위부까지의 대동맥 내부관찰이 가능하여 병변의 범위 및 적절한 수술요법의 선택에 도움을 준다. 또한 대동맥궁이나 그분지(arch vessel)에 병변이 진행되어 있는 경우, 전순환정지를

유도하지 않는다면 대동맥궁 분지(arch vessel)에의 삽관 및 뇌 관류(cerebral perfusion)가 필요하게 되는데 전순환정지를 유도함으로써 이러한 조작을 피할 수 있어, 수술이 덜 번거로우며 특히 동맥경화성 변화나 병변이 진행되어 있을 수도 있는 대동맥궁분지(arch vessel)의 손상을 막아 그에 따른 뇌혈전색전증의 위험성도 줄일 수 있는 장점이 있다<sup>10,14,16,24)</sup>.

체온의 하강에 따라 신체 각 기관의 산소 소모량은 감소하며, 따라서 전순환정지의 “안전기간”(safety duration)이 길어지는 것은 잘 알려져 있는 사실이나 어느 정도의 저체온이 가장 효과적이며 체온에서의 안전기간이 과연 얼마인가에 대해서는 많은 논란이 있어 왔는데, 대부분의 동물실험에 의하면 18°C~20°C에서 30분정도의 전순환정지는 안전한 것으로 알려져 있고 45분이 경과하면 뇌손상을 받을 가능성이 증가한다고 하며<sup>18,19)</sup>, 임상에서는 일반적으로 45분에서 60분이 안전한계로 받아들여지고 있다<sup>20~22)</sup>. 저자들의 경우도 전순환정지 시간이 45분을 넘긴 4례에서 모두 술후 신경기능이상을 나타내 위의 연구들과 부합되는 소견을 보였다.

위에 살펴본 바와 같이 대동맥 질환이 전순환정지 기법이 상당히 유용하게 사용될 수 있음에도 불구하고 소아질환에서의 경우와 비교하며 비교적 늦게 시작되었으며 또한 아직도 그 사용빈도가 훨씬 떨어지는 것은 냉각 및 가온에 시간이 오래 소요되며 균일한 냉각(even cooling)이 기술적으로 어려워 안전기간(safety period)를 예측하기 어려운데 그 이유가 있다고 하겠다.

실제로 Coselli 등<sup>23)</sup>은 냉각시 신체 여러부위의 체온을 비교하여 뇌실질의 체온과 상당한 차이가 있음을 보고 하였으며, 냉각 중 뇌전도(electroencephalogram)을 모니터하여 뇌전기활동(cerebral electric activity)이 나타나지 않은 동전 뇌전도(isoelectric EEG) 상태를 “electro cerebral silence”(ECS)로 정의하고, ‘신체 어느 부위에서 측정한 체온보다 이 “ECS”가 뇌실질의 대사활동상태(metabolic activity)를 잘 반영한다 하였다.

저자들은 냉각시 표면냉각을 병행하는 한편 혈관 확장제를 충분히 사용하여 말초관류를 증가시켜 가급적 신체부위별 체온의 차이를 줄이고 균일한 냉각이 유도될 수 있도록 노력하였다. 또한 초기의 몇몇례에서 냉각시 뇌전도 모니터를 같이 시행하여 보통 비인두체

온(nasopharyngeal temperature) 18°C 내외에서 ECS를 경험하였으나 그후 여러 전기간섭(electric interference)으로 뇌전도의 정확한 해석이 어려워 현재는 시행하지 않고 있다.

1989년부터 저자들은 대부분의 경우, 대퇴부 박리시에 액와부 박리를 같이하여 동맥선을 대퇴동맥 외에 액와동맥에 하나 더 설치 후 순환정지시간이 길어질 경우, 액와동맥을 통한 뇌 관류를 별도로 시행할 수 있도록 하였다. 이러한 액와동맥 삽관 및 관류의 장점으로는 별도의 뇌관류를 가능하게 한다는 것 외에 혈류 방향이 순행(antegrade)이기 때문에 체외순환 시작시 대퇴동맥관을 통한 역행혈류가 재유입부(reeentry site)를 통하여 가관강(false lumen)으로 흘러들어가 대동맥 박리가 역행전파(retrograde progression)되는 것을 방지하며, 역행전파되어 대동맥궁 분지(arch vessel)를 통한 혈류가 감소하여도 뇌순환을 유지할 수 있으며, 체외순환 이탈시에도 역시 순행혈류이기 때문에 이탈이 수월해지며 가관강(false lumen)을 폐색(obliteration)을 시키고 따라서 문합부 출혈을 감소시키는 것이다.

술후 신경기능의 이상을 보인 군에서의 연령이 보이지 않은 군에서 보다 상대적으로 높았던 것은 초저체온 및 전순환정지가 특히 노년층에서 신경손상을 초래 할 수 있다는 보고들과 일치하며<sup>25,26)</sup> 이러한 신경손상이 노년층에서 상대적으로 높은 이유는 말초혈관의 퇴행성 변화로 균일한 냉각(even cooling)이 용이하지 않으며, 또한 임상적으로 드러나 있지는 않지만 각 조직, 특히 뇌실질 내에 허혈성 손상(ischemic injury)를 이미 받았거나 또는 받기 쉬운 쉬운 상태에 있는 부위를 가지고 있을 확률이 높기 때문인 것으로 생각된다. 상기 기술한 액와동맥을 통한 뇌관류 및 전순환정지시간의 단축의 신경손상을 줄일 수 있는 하나의 대안이 되겠으나, 이러한 노년층에서 초저체온 및 전순환정지외에 뇌실질의 보호를 위한 다른 보조수단이 과연 필요한가에 대하여는 좀 더 많은 임상경험 및 연구가 필요하다고 생각되어진다.

## 결 론

- 서울대학교병원 흉부외과학 교실에서는 1988년에서 1990년까지 체외순환을 통한 초저체온의 유도 및 전순환정지 기법을 이용하여 18명의 성인 대동맥 질환

환자를 수술하였다.

2. 평균연령은  $45.2 \pm 10.7$ 세였으며, 대동맥 박리증이 12례, 대동맥판률 확장증이 3례, 상행 대동맥류 및 하행 대동맥류가 각각 2례 및 1례였다.

3. 변형 Bentall 술식을 7례에서 시행하였으며, 상행 대동맥 대체술을 6례에서, 하행 대동맥의 인조도관 개재술을 3례에서, 그외 대동맥강내 보철윤관 삽입술과 동맥류 절제술 후 첨포재건술을 각각 1례에서 시행하였고 평균 순환정지시간은  $34.7 \pm 5.0$ 분이었다.

4. 술후 5명이 사망하였다(병원사망율 27.8%). 사망원인은 3례가 체외순환 이탈실패, 2례가 뇌손상이었다.

5. 4례에서 술후 신경기능이상을 경험하였는데 1례를 제외하고는 모두 일과적인 것이었다. 사망례를 포함하여 신경기능이상을 보인 군의 평균 연령은  $53.0 \pm 4.2$ 세, 아무 신경기능의 이상없이 회복한 군의 평균 연령은  $41.3 \pm 3.4$ 세였으며( $p < 0.1$ ), 전순환정지시간이 45분이상 경과한 4례에서 모두 술후 신경기능이상을 보였다.

6. 평균 추적기간은  $22.7 \pm 10.1$ 개월이었다. 만기사망은 없었으며 추적기간 중 새로운 신경합병증도 관찰되지 아니하였다.

## REFERENCES

- Bigelow WG, Lindsay WK, : *Hypothermia—its possible role in cardiac surgery: an investigation of factors governing survival in dogs at low body temperature*. Ann Surg 132 : 849, 1950
- Bigelow WG, McBirnie JE : *Further experiences with hypothermia for intracardiac surgery in monkeys and ground hogs*. Ann Surg 37 : 361, 1953
- Hikasa Y, Shirotani H, Satomura K, et al : *Open heart surgery in infants with the aid of hypothermic anesthesia*. Arch Jpn Chir 36 : 495, 1967
- Barratt-Boyes BG, Simpson M, Neutze JM : *Intracardiac surgery in neonates and infants using deep hypothermia with surface cooling and limited cardiopulmonary bypass*. Circulation 43, 44(Supple I) : 25, 1971
- Weiss M, Piwnica A, Leufant G, et al : *Deep hypothermia with total circulatory arrest*. Trans Am Soc Artif Intern Organs 6 : 227, 1960
- Kirklin JW, Dawson B, Devloo RA, et al : *intracardiac operations: Use of circulatory arrest during hypothermia induced by blood cooling*. Ann Surg 154 : 769, 1961
- Horiuchi T, Koyamada K, Matano I, et al : *Radical operation for ventricular septal defect in infancy*. J Thorac Cardiovasc Surg 46 : 180, 1963
- Dillard DH, Mohri H, Hessel EA, et al : *Correction of total anomalous pulmonary venous drainage in infancy utilizing deep hypothermia with total circulatory arrest*. Circulation 61, 62(Supple III) : III-73, 1970
- Borst HG, Schanding A, Rudolph W : *Arteriovenous fissula of the aortic arch: Repair during deep hypothermia and circulatory arrest*. J Thorac Cardiovasc Surg 48 : 443, 1964
- Culliford AT, Ayvaliotis B, Shemin R, et al : *Aneurysm of the ascending aorta and transverse arch: Surgical experience in 80 patients*. J Thorac Cardiovasc Surg 83 : 701, 1982
- Massimo CG, Presenti LF, Marranci P, et al : *Extended and total aortic resection in the surgical treatment of acute type A aortic dissection: Experience with 54 patients*. Ann Thorac Surg 46 : 420, 1988
- Massimo CG, Presenti LF, Favi PP, et al : *Excision of the aortic wall in the surgical treatment of acute type A aortic dissection*. Ann Thorac Surg 50 : 274, 1990
- Crawford ES, Coselli JS, Safi HJ : *Partial cardiopulmonary bypass, hypothermic circulatory arrest, and posterolateral exposure for thoracic aortic aneurysm operation*. J Thorac Cardiovasc Surg 94 : 824, 1987
- Crepps JT Jr, Allmandinger P, Ellison L, Ellison L, et al : *Hypothermic circulatory arrest in the treatment of thoracic aortic lesions*. Ann Thorac Surg 43 : 644, 1987
- Coselli JS, Crawford ES : *Surgical treatment of aneurysms of the intrathoracic segment of the subclavian artery*. Chest 91 : 704, 1987
- Mahfood S, Foazi A, Garcia J, et al : *Management of aortic arch aneurysm using profound hypothermia and circulatory arrest*. Ann Thorac Surg 39 : 412, 1985
- Crawford ES, Crawford JL, Stowe CL, et al : *total aortic replacement for chronic aortic dissection occurring in patients with and without Marfan's syn-*

- drome. *Ann Surg* 199 : 358, 1983
- 18. Kramer RS, Sanders AP, Lesage AN, et al : *The profound hypothermia on preservation of cerebral ATP content during circulatory arrest. J Thorac Cardiovasc Surg* 56 : 699, 1968
  - 19. Treasure T, Naftel DC, Conger KA, et al : *The effect of hypothermic circulatory arrest time on cerebral function, mortality and biochemistry. J Thorac Cardiovasc Surg* 86 : 761, 1983
  - 20. Wells FC, Coghill S, Caplan HL, et al : *Duration of circulatory arrest does influence the psychological development of children after cardiac operations in early life. J Thorac Cardiovasc Surg* 86 : 823, 1983
  - 21. Messner BJ, Schallberger U, Gattiker R, et al : *Psychomotor and intellectual development after deep hypothermia and circulatory arrest in early infants. J Thorac Cardiovasc Surg* 72 : 495, 1976
  - 22. Clarkson PM, MacArthur BA, Barrat-Boyces B, et al : *Development progress after cardiac surgery in infancy using profound hypothermia and circulatory arrest. Circulation* 62 : 855, 1980
  - 23. Coselli JS, Crawford ES, Beall AC Jr, et al : *Determination of brain temperatures for safe circulatory arrest during cardiovascular operation. Ann Thorac Surg* 45 : 638, 1988
  - 24. Graham JM, Stinnett DM : *Operative management of acute aortic dissection using profound hypothermia and circulatory arrest. Ann Thorac Surg* 44 : 192, 1987
  - 25. Cooley DA, Ott DA, Frazier OH, et al : *Surgical treatment of aneurysm of the transverse aortic arch : Experience with 25 patients using hypothermia technique. Ann Thorac Surg* 32 : 261, 1981
  - 26. Livesay JJ, Cooley DA, Reul GJ, et al : *Resection of aortic arch aneurysm : A comparison of hypothermic techniques in 60 patients. Ann Thorac Surg* 36 : 19, 1983