

개심술후 합병되는 횡격신경마비에 관한 임상적 고찰

이재성* · 송인기* · 최종범* · 최순호*

— Abstract —

A Clinical Review of Phrenic Nerve Paralysis associated with the Use of Iced Slush for Topical Hypothermia during Cardiac Surgery

J.S. Lee, M.D.* , I.K. Song, M.D.* , J.B. Choi, M.D.* , S.H. Choi, M.D.*

Phrenic nerve injury has been reported with the use of iced slush for topical cardiac hypothermia.

A review of the preoperative and the postoperative chest roentgenograms was performed to detect phrenic nerve injury in patients undergoing cardiac operation with the use of iced slush for topical hypothermia from January, 1985 to June, 1987. The reviewed series included 45 patients who had undergone valve replacement.

In this review, the injured site of phrenic nerve was left in 13 cases, right in 1 case and the overall incidence of phrenic nerve paralysis following open heart surgery was 31%.

Compared to the incidence of phrenic nerve paralysis in the control group (without pericardial insulation) (40%, 12 cases/30 cases), that in the group of patients receiving pericardial insulation (13.3%, 2 cases/15 cases) was lower, but there was no statistical significance.

The initial time that diaphragmatic paralysis developed was mean 3.5 days (range 1-8 days) postoperatively and the recovery time of the paralysis was mean 4.7 months (range 0.5-10.5 months) postoperatively.

서 론

최근에 개심술시 심근을 보호하는 방법의 개선으로 수술성적이 크게 향상되고 있다. 심근허혈상태에 빠져 있는 동안 심근을 적절히 보호시키는 방법으로 심정지액의 관상동맥 관류법과 저온법이 널리 이용되고 있다. 이러한 방법으로 심근 허혈상태에서 심근의 온도를 15°C 이하로 유지함으로써 적절한 심근 보호를 얻을 수 있다^{1,2)}.

국소심냉각법으로 인한 특별한 합병증은 없으나 횡격

신경과 심낭의 밀접한 해부학적 위치때문에 개심술동안 횡격신경의 손상이 올 수 있다.

국소심냉각법으로 얼음절편을 사용한 경우에 술후 단순흉부X-선필름상 횡격막거상을 보이는 빈도와 심단열패드를 사용한 군과 사용하지 않은 군간에 차이를 조사했다.

관찰대상 및 방법

관찰대상은 원광대학교 의과대학 흉부의과학교실에서 1985년 1월부터 1987년 6월까지 체외순환하에 관막치환술을 받고 생존한 45명을 대상으로 하였다.

이들의 병력기록을 조사하고 술전과 술후의 단순흉부X-선필름을 비교 분석하였다. 술전보다 술후 필름에서 횡격막이 현저히 거상된 경우를 횡격신경마비로 진단하

* 원광대학교 의과대학 흉부의과학교실

* Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, College of Medicine, Wonkwang University

1987년 8월 31일 접수

고 수술직후부터 관찰을 시작하여 퇴원후에도 외래내원을 통해 추적관찰하였다.

관찰대상 45명중 15명은 대동맥 차단시 간동안 좌심실밑 심낭안에 수술실에서 보통 사용하는 소독 패드를 삽입하였고 나머지 30명은 소독 패드를 사용하지 않았다. 양 군의 임상 소견은 제 1표와 같다(제 1표).

개심술을 시행한 모든 환자에서 산화기로부터 채취한 총진액에 K^+ 을 30mEq/L 되게 첨가하고 얼음으로 총진된 재순환로를 통해 순환시켜 5~10°C로 냉각시킨후 병혈심정지액으로 사용하였고 체외순환 도중 심정지 및 심근보호를 위해 초회외의 경우 이 심정지액을 10ml/kg을 투여하고 30분마다 또는 심근의 전기적 활동이 나타날 때마다 약 8ml/kg씩 반복 투여하는 것을 원칙으로 하였다.

대부분 환자에서 직장온도 25°C의 중등도 저체온법을 이용했다.

국소심냉각은 비닐 병내에 든 하트만용액을 동봉하여 미리 소독을 맡기고 술전 하루동안 냉장고에 냉각시킨 다음 수술시에 완전 멸균된 제빙기를 이용하여 얼음절편을 만들어 대동맥차단중 심장을 보호하기 위해서 심낭내에 지속적으로 채웠다. 국소심냉각을 위해 사용된 하트만용액은 환자당 약 3 liter 정도였다.

결 과

술후 횡격막 거상이 나타난 환자는 14명으로 관찰대상의 31%를 차지하였고, 이 중 패드를 삽입하였던 group에서는 2명이 출현하여 13.3%, 패드를 사용하지 않았던 group에서는 12명이 출현하여 40%의 빈도를 보였다. 그러나 2×2표에 의한 Chi-square 검정에서 χ^2 값(2.19) < $\chi^2_{0.95} = 3.814$ 로 두 군간에 통계학적 의의는 없었다(제 2표).

단순흉부X-선필름상 나타난 횡격막 거상은 13명에서 좌측에 국한되어 있었고 1명은 우측에 우측에 국한되어 있었다. 처음 출현한 시기는 술후 평균 3.5일(범위 1~8일)이었고, 추적기간동안 횡격막 거상이 소실된 환자는 9명으로 소실시기는 술후 평균 4.7개월(범위 0.5~10.5개월)이었다. 나머지 5명은 1987년 8월 20일 현재까지 횡격막 거상이 존재하고 있으며 추적기간은 각각 2.5개월, 2.5개월, 8개월, 13개월, 심지어는 21.5개월인 경우도 있었다(제 3표, 그림 1, 그림 2).

Table I. Clinical Material

	without pericardial insulation	with pericardial insulation	Significance
No. of patients	30	15	
Sex			
Male	17	7	
Female	13	8	
Age(mean) (yr.)	39.6 (range 16-53)	39.5 (range 25-64)	
Ischemic time (min.)	128±8.33	111.7±8.61	NS*

NS*: no statistical significance

Table II. Incidence of Phrenic Nerve Paralysis

	without pericardial insulation	with pericardial insulation	Total
Paralysis +	12(40%)	2(13.3%)	14
Paralysis -	18(60%)	13(66.7%)	31
Total	30	15	45

no significance between two groups
(2×2 table, Chi-Square test, χ^2 value: 2.19 < $\chi^2_{0.95}$: 3.814)

Table III. Ischemic time, Occurring and Disappering time of phrenic nerve paralysis after cardiac surgery

Patient No. age(yr), sex	Operation/ Ischemic time(min)	Occurring (postop.day)	Disappering (postop.mon.)
1. 53/M	MVR/163	4	5
2. 50/F	MVR/83	2	10.5
3. 47/M	MVR/85	2	F-U, 21.5
4. 42/M	MVR + TAP/130	8	7
5. 35/M	DVR + TAP/238	5	1
6. 20/F	MVR/92	5	3.5
7. 44/F	MVR + TAP/133	1	0.5
8. 44/F	MVR + TAP/145	1	8
9. 49/F	MVR/120	4	F-U, 13
10. 37/F	AVR/87	3	1
11. 30/M*	DVR/180	5	5.5
12. 64/M	AVR/125	4	F-U, 8
13. 58/F	MVR/70	3	F-U, 2.5
14. 49/M	AVR + TAP/125	2	F-U, 2.5
mean		3.5	4.7

F-U: Follow-up until Aug., 1987

*The injured site was right in this case, left in the others.

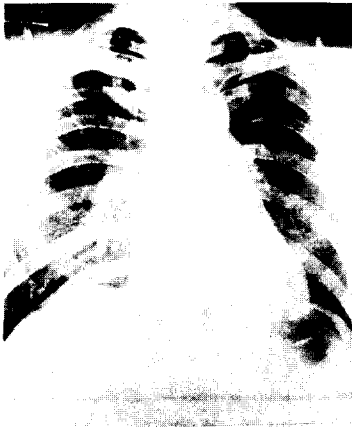


Fig. 1. Chest roentgenogram of a patient with preoperative normal diaphragmatic position



Fig. 2. Chest roentgenogram of a patient with post-operative left hemidiaphragmatic elevation.



고 안

체의순환하의 개심술시에 대동맥차단중 심근은 허혈 상태에 빠지게 되는데, 이때 심근을 적절히 보호함으로써 수술후에도 심장기능을 그대로 보존시킬 수 있다.

심근 허혈상태동안 심근보호의 가장 효과적인 방법에

대해서는 아직도 논란이 많으나 현재 흔히 사용되는 방법으로는 저온법과 심정지역의 관상동맥 관류법으로 대별할 수 있다.

심근의 에너지 요구는 주로 그의 전기기계적 일(electromechanical work)에 의해 결정되며, 심근온도와 심근벽의 긴장에 의해 이차적으로 영향을 받기도 한다.

심정지시 심근의 산소요구량은 온도가 저하됨에 따라

더욱 감소된다. 또 일정한 저온(22°C)에서, 심근이 전기기계적 일을 가지는 경우는 심정지때보다 8~10 배 정도의 산소요구량이 증가된다³⁾. 따라서, 심근의 전기기계적 일을 정지시키고 심근의 온도를 저하시킬 때 심근의 에너지 요구를 더욱 감소시킬 수 있으므로 냉심정지액의 사용이 개심술의 영역에서 관심의 초점이 되고 있다.

심근보호의 초점이 되고 있는 냉심정지액의 사용목적은 ① 안전하게 심정지를 유발시키고 ② 대동맥 차단중에 지속적인 에너지 공급상태를 유지시켜주며 ③ 심근 온도의 저하를 가져오고 ④ 관상동맥의 혈류 차단으로 인한 심근손상을 방지할 수 있다는 점들이다⁴⁾.

그런데, 심정지액을 주입하는 사이에 비관상부혈류(non coronary collateral circulation)를 통해 심근으로의 혈류가 유지되어 전신혈류온도에 의해 심근온도의 상승이 일어날 수 있고^{5,6)}, 심한 병변을 가진 관상동맥을 통해 심정지액을 주입하는 경우 국소에 따라 심정지액이 불균등하게 분포되므로 불완전한 심근 냉각과 심근보호를 야기할 수도 있다^{7,8)}. 또한, 냉각된 심정지액을 관상동맥에 관류시킬 때 관상동맥의 경련을 초래할 수 있고, 그 결과로 인해 심정지액이 심근 전체에 균등하게 분출되지 않을 수 있다는 사실이 알려졌다⁹⁾.

Landymore 등은 국소냉각법이 관상동맥질환 환자에서 심근냉각을 더 균등하게 하고 더 효과적인 심근보호를 나타낸다고 보고하고 있으며⁷⁾, Wilson 등은 17°C 이하의 심근 온도에서 고칼륨 심정지액 자체가 심근 대사에 미치는 이로운 점이 거의 없다고 보고했다¹⁰⁾.

이러한 관점에서 볼 때 Shumway¹¹⁾에 의해 처음 임상에 도입된 국소냉각법은 심근보호에 큰 비중을 차지하고 있으며, 이 방법과 심정지액의 관상동맥 관류법이 병용될 경우 개심술시 좀더 좋은 심근보호효과를 얻을 수 있다고 생각된다.

국소냉각법으로는 냉전해질 용액을 심낭내로 간헐적 또는 지속적으로 관주하는 방법, 심낭내에 얼음 절편을 채우는 방법, 심장주위에 놓인 밀폐된 계통(예, 냉각용 자켓)내로 냉용액을 계속적으로 순환시키는 방법 등을 들 수 있다.

Shumway 등에 의해 제시된 냉전해질용액의 간헐적 심낭내 관주방법은 심근온도에 미치는 효과가 아주 적으며¹²⁾, 지속적인 관주방법도 심장이 커진 경우에는 큰 효과를 기대하기 어렵다¹³⁾. 또한, 지속적 관주방법의 단점으로는 ① 지속적인 심낭내 흡인에 의한 소음 ② 심낭내로 흘러들어간 혈액 소실 ③ 냉전해질용액 병을 자

주 바꿈으로써 드는 비용과 수술실의 대기 온도에 노출되어 일어나는 가온효과 ④ 심장전면부 보호가 불확실한 점 ⑤ 재수술시 심낭의 불완전한 확보로 충분한 용액을 채울 수 없는 점 등을 들 수 있다.

또, 우심실의 전면은 수술실의 무영등에 의해, 심장의 아랫면은 횡격막에 의해, 그리고 좌심실의 뒷면은 대동맥의 근위부에 의해 가온될 수 있다. 이러한 우심실의 불완전한 심근보호가 우심실부전을 초래할 수^{14,15)} 있기 때문에 완전한 국소냉각법이 요구되고 있으며, 이러한 취약부위의 온도를 정기적으로 측정함으로써 심근 보호효과를 높일 수 있다.

냉전해질용액의 심낭 관주방법의 단점을 보완하기 위해 사용되는 냉각용 자켓의 출현으로 심근보호에 큰 효과를 거두고 있다¹⁶⁾.

개심술후 발생하는 무기폐나 폐침윤(atelectasis or infiltrate)은 좌측에 주로 생기는데, 그 원인으로는 ① 위 팽만에 의한 일측성 횡격막 거상 ② 수술중 견인으로 인한 폐실질부의 손상 ③ 수술중 횡격신경에 직접적인 손상 ④ 심국소냉각에 의한 횡격신경의 손상 등이 제시되고 있다.

지금까지 보고된 문헌에 의하면 개심술후 발생하는 무기폐나 폐침윤은 주로 국소냉각시 횡격신경의 손상에 의한 2차적인 횡격막마비에 의한 것으로 간주되고 있다.

그런데, Omkar 등의 “횡격신경과 횡격막기능의 전기생리학적 측정”에 대한 연구는 “개심술후 흉부X-선 필름상 이상소견을 보였던 44명중 39명에서 횡격신경의 전도의 변화가 크지 않은 것으로 보아 개심술후 무기폐나 폐침윤은 주로 수술중 견인에 의한 폐손상의 결과이다”고 보고 있다¹⁷⁾.

개심술후 국소냉각에 의한 합병증에 대한 보고는 거의 없다. 그런데, 좌횡격신경이 심낭과 좌중격동능막사이에 위치하고 우횡격신경보다 더 길고 윗쪽에 위치하기 때문에 장시간의 저체온법과 국소냉각에 의해 손상을 받기 쉽다.

1963년 Scannell¹⁸⁾ 등은 처음으로 “국소냉각법이 횡격신경마비를 유발할 수 있다”고 암시하고, 이를 “frost-bitten phrenic”라고 명명했다. Marco 등은 개의 심낭내에 얼음물을 관주하여 인위적인 횡격신경마비를 야기시킨 후 미엘린초(myelin sheath)의 현미경학적 손상 정도를 관찰하였는데, 경미한 손상의 경우에는 수초탈락이 일어나나 60일내에 완전히 회복되었으며 심한 손상의 경우에는 축삭돌기 붕괴가 초래되었고 9~12개월만에 회복되었다. Good²⁰⁾은 관상동맥 우회로술후

에 좌측 하엽 무기폐가 86~90%에서 발생하였다고 보고하고 있고, Benjamin²¹⁾ 등은 63~85%, Wheeler²²⁾ 등은 60%로 보고하고 있다. 본 교실은 31%를 보였 다.

Rousou²³⁾는 국소냉각법으로 생리적 식염수를 사용하여 관상동맥 우회로술을 시행한 군, 얼음절편을 사용하여 관상동맥 우회로술을 시행한 군, 생리적 식염수를 사용하여 관막치환술을 시행한 군, 냉각용 자켓과 생리식 염수를 병용해 관막치환술을 시행한 군, 냉각용 자켓과 얼음절편을 사용해 관막치환술을 시행한 군으로 나누어 횡격신경마비의 발생을 관찰한 결과, 얼음절편만을 사용한 군의 24%, 냉각용 자켓과 생리식염수를 사용한 군 의 12.5%, 냉각용 자켓과 얼음절편을 사용한 군의 22.9%에서 좌횡격신경마비를 볼 수 있었고, 생리 식염수만 사용한 군에서는 한 예도 볼 수 없었으며 냉각용 자켓 과 얼음절편을 사용한 군의 2명에서 양측 횡격신경 마 비를 볼 수 있었다.

개심술후 양측성 횡격신경마비는 드물며 Irisawa²⁴⁾ 가 6주만에 증상이 호전된 1예, Chandler²⁵⁾가 5~12 개월만에 호전된 3예, Kohorst²⁶⁾가 6~9개월 추적관 찰에서 회복되지 않은 2예를 각각 보고하고 있는데 이 들은 그 원인을 축삭돌기 손상이라고 추측하고 있다.

Rousou²³⁾는 냉각자켓과 얼음절편을 국소냉각법으로 사 용했던 관찰대상중 2예에서 양측 횡격신경마비를 보았 고, 각각 2개월과 3개월만에 회복되었다.

양측 횡격신경마비가 오면 호흡기에 의한 보조호흡을 중단하기가 힘들고 보조호흡을 중단한 후 곧바로 심한 호흡곤란이 오며 심한 저산소증, 기좌호흡곤란, 그리고 흡기시 복벽의 기이운동 등이 보인다.

Kohorst²⁶⁾와 Whitelaw²⁷⁾에 의하면, X-레이 투시법 과 Sniff Test는 양측 횡격막마비의 진단상에 어려움을 가지고 있으며 또한 오진할 수도 있기 때문에 이 병 변의 진단에 별 가치가 없다고 한다. 위나 식도에 정치 된 라텍스기구가 끝에 달린 관을 이용해 횡격막 상하의 압력차(Pdi)를 측정함으로써 정확한 진단을 할 수 있 으며, 폐활량의 측정과 경부에서 횡격신경의 경피 자극 도 측정도 진단에 도움을 준다.

횡격신경마비의 예후는 Marco의 실험 보고가 뒷받침 하듯이 역시 현미경학적 변화 정도에 따라 결정된다. 즉, 경미한 수초탈락만 있고 축삭돌기 손상이 거의 없는 경 우는 좋은 경과를 나타내고, 현저한 축삭돌기 붕괴와 수 초탈락이 있는 경우는 늦게 회복된다.

다행히 국소냉각법에 의한 일측성 횡격신경 마비는

별 증상이 없고 일시적이다. 그러나, 양측성 횡격신경마 비는 유병율과 병원 입원기간을 증대시킨다.

이러한 국소냉각법에 따른 술후 횡격신경마비를 예방 하기 위해서는 Wheeler에 의해 제시된 심단열패드 사 용이 추천된다. 본 교실에서 조사한 심단열패드군과 삼 입하지 않은 군간에는 빈도에 큰 차이를 보였으나 통계 학적 의의는 없었다. 또한 본 교실에서 사용한 심단열 패드는 상품화 된 단열패드가 아니고 단순한 소독 패드 이기 때문에 향후 제품화 된 심단열패드를 이용하여 좀 더 관찰이 필요할 것으로 사료된다.

결 론

원광대학교 의과대학 흉부외과학교실에서 1985년 1 월부터 1987년 6월까지 체외순환하에 관막 치환술을 시행받고 생존한 45명을 대상으로 술전후 단순 흉부X -선필름을 비교 분석하여서 얼음절편을 이용한 국소심 냉각이 횡격신경마비에 미치는 영향에 대해 조사한 결 과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 술후 횡격신경마비증은 14명에서 발생하여 관찰 대상의 31%에 해당하는 빈도를 보였다.
- 2) 심단열패드를 사용하였던 15명중 2명이 출현하 였고(13.3%), 패드를 사용하지 않았던 30명중 12명 이 출현하여(40%) 심단열패드군에서 빈도가 상당히 감소를 보이고 있으나 통계학적 의의는 없었다.
- 3) 횡격막거상은 13명에서 좌측에 출현하였고 한명 은 우측에 출현하였다.
- 4) 출현시기는 술후 평균 3.5일이었고(범위1~8일) 회복시기는 술후 평균 4.7개월(범위 0.5~10.5개월)이 었으며, 1987년 8월 20일 기준으로 5명에서는 계속 진 행중이고 심지어는 술후 21.5개월에 지속되고 있는 경우도 1명이 있었다.

REFERENCES

1. Behrendt DM, Jochim KE: *Effect of temperature of cardioplegic solution.* J Thorac Cardiovasc Surg 76:353, 1987.
2. Tyers GFO, Williams EH, Hughes HC, Todd GH: *Effect of perfusate temperature on myocardial protection from ischemia.* J Thorac Cardiovasc Surg 73:766, 1977.
3. Buckberg GD, Brazier JR, Nelson RL, Goldstein SM, McConnell DH, Copper N: *Studies of the effects of hypothermia on regional myocardial blood flow and metabolism dur-*

- ing cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 73:87, 1977.
4. Buckberg GD: A proposed "solution" to the cardioplegic controversy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 77:803, 1979.
 5. Rosenfeldt FL: *Hypothermic Preservation Techniques-Pitfalls, The textbook of Clinical Cardioplegia*, Rm Engelman, S Levitsky, eds., Mt. Kisco, N. Y., 1982, Futura Publishing CO., Inc..
 6. Cunningham JN, Adams PX, Knopp EA, Baumann FG, Snively SL, Gross RI, Nathan IM, Spencer FC: Preservation of ATP ultrastructure and ventricular function after aortic cross-clamping and reperfusion. *J Thorac Cardiovasc Surg* 78:708, 1979.
 7. Landymore RW, Tice D, Trehan N, Spencer F: Importance of topical hypothermia to ensure uniform myocardial cooling during coronary artery bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 82:832, 1981.
 8. Grondin CM, Helias J, Vouhe PR, Robert P: Influence of critical coronary stenosis on myocardial protection through cold potassium cardioplegia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 82:608, 1981.
 9. Romagnoli A, Kocka AJ: Coronary dilators and cardioplegia. *Bull Tex heart Inst* 8:467, 1981.
 10. Wilson GJ, Robertson JM, Walters FJM, Steward DJ, MacGregor DC: Intramyocardial pH during elective arrest of the heart. Relative effects of hypothermia versus potassium cardioplegia on anaerobic metabolism. *Ann Thorac Surg* 30:472, 1980.
 11. Schumway NE, Lower RR, Stofer RC: Selective hypothermia of the heart in anoxic cardiac arrest. *Surg Gynec* 109:750, 1959.
 12. Sules QR, Hughes RK, Lindesmith GC: The effectiveness of topical cardiac hypothermia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 73:176, 1977.
 13. Rosenfeldt FL, Watson DA: Development of an in vitro model of myocardial cooling. A study of the effect of cardiac size on cooling rate. *Ann Thorac Surg* 27:7, 1979.
 14. Behrendt DM, Jochim KE: Effect of temperature of cardioplegic solution. *J Thorac Cardiovasc Surg* 76:353, 1978.
 15. Gonzalez AC, Brandon TA, Fortune RL: Acute right ventricular failure is caused by inadequate right ventricular hypothermia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 89:396, 1985.
 16. Lawrence I Bonchek, Gordon N Olinger: An improved method of topical cardiac hypothermia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 82:878, 1981.
 17. Omkar N Markand, FRCP(C), SS Moorthy, Yousuf Mahomed, Robert D King, John W Brown: Postoperative phrenic nerve palsy in patients with open-heart surgery. *Ann Thorac Surg* 39:68, 1985.
 18. Scannell JG: Discussion of McGoon DC, Mankin HT, Kirklin JW: Results of open-heart operation for acquired aortic valve disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 45:47, 1963.
 19. Marco JD, Hahn JW, Barner HB: Topical cardiac hypothermia and phrenic nerve injury. *Ann Thorac Surg* 22:235, 1977.
 20. Good JT Jr, Wolz JF, Anderson JT, Dreisin RB, Petty TL: The routine use of positive end expiratory pressure after open heart surgery. *Chest* 76:397, 1979.
 21. Benjamin JJ, Cascade PN, Rubenfire M, Wajszczuk W, Kerin NZ: Left lower lobe atelectasis and consolidation following cardiac surgery. The effect of topical cooling on the phrenic nerve. *Radiology* 142:11, 1982.
 22. Wheeler W, Rubis LJ, Jones CW, Harrah JD: Topical cardiac hypothermia and phrenic nerve injury. (submitted for publication).
 23. John A Rousou, Thomas Parker, Richard M Engelman, Robert H Breyer: Phrenic nerve paresis associated with the use of iced slush and the cooling jacket for topical hypothermia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 89:921, 1985.
 24. Irisawa A, Osawa M, Yamamoto N, Morikawa T, Ishii K: A case of bilateral phrenic nerve paralysis due to ice slush used for topical cardiac hypothermia. *Jpn J Thorac Surg* 33:183, 1980.
 25. Chandler KW, Roxas CJ, Kory RC, Goldman AL: Bilateral diaphragmatic paralysis complicating local cardiac hypothermia during open-heart surgery (abstr). *Am Rev Respir Dis* 125:(Suppl):98, 1982.
 26. Kohorst WR, Schonfeld SA, Altman M: Bilateral diaphragmatic paralysis following topical cardiac hypothermia. *Chest* 85:65, 1984.
 27. Guenter CA, Whitelaw WA: The role of diaphragm function in disease. *Arch Intern Med* 139:806, 1979.