폐절제술 시 발생한 치명적인 정맥 공기색전증

경희대학교 의과대학 마취통증의학교실

채 호 승 · 권 무 일

= Abstract =

Fatal Venous Air Embolism during Lung Surgery

-A case report-

Ho Seung Chae, M.D., and Moo Il Kwon, M.D.

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, College of Medicine,
Kyung-Hee University, Seoul, Korea

Venous air embolism (VAE) can be a lethal complication of surgical procedures during which (1) venous pressure at the site of surgery is subatmospheric or (2) air (or gas) is forced under pressure into a body cavity. We experienced a case of fatal massive venous air embolism during lung surgery in a 52 years old patient undergoing a right upper lobectomy and right lower lobe superior segment wedge resection for lung cancer. Anesthetic induction and the initial intraoperative course were completely uneventful until sudden severe hypotension and abrupt bradycardia occurred after artificial air insufflation into the intraabdominal cavity through the diaphragm to reduce the dead space of the thoracic cavity. We considered a venous air embolism as the etiology of these events and treated the patient with manual cardiac massage, various cardiotonic drugs and removal of air through the right atrium. The patient was extubated at 3 days after surgery and discharged from the hospital without the complication of the venous air embolism. (*Korean J Anesthesiol* 2002; 43: 121~125)

Key Words: Artificial air insufflation; lung surgery; venous air embolism.

정맥혈 공기색전증은 정맥혈 내로 공기가 들어갈 수 있는 여러 가지 수술적 과정과 진단 과정의 합병증으로 일어날 수 있다. 이는 수술부위가 심장보다 높은 위치에 있을 경우 일어나기 쉬우며 또한 수술 과정 중 체강(body cavity), 관절 또는 혈관 구조물들을 통해 공기가 들어가서 생길 수도 있다.¹⁻³⁾ 정맥혈

공기색전증은 특히 두부 수술에서 빈도가 높으며 이외에도 심폐회로(cardiopulmonary bypass),⁴⁾ 갑상선 절제술, 전치태반의 적출이나 그 외 자궁 내 조작, 복강경 수술, 고관절 수술, 복와위에서 척추의 기계적 융합술,^{5,6)} 혈액 투석, 기관지경 검사, 기뇌 조영술(pneumoencephalography), 중심정맥 카테터나 Swan-Ganz 카테터의 거치,⁷⁾ 양압 하에서의 혈액이나 수액공급, 미추마취 등에서도 보고되고 있다.

적은 양의 공기는 대개 오른편 심장을 통해 폐 소동맥으로 들어가지만 때때로 심방중격(atrial septum)의 난원공개존(patent foramen ovale) 시 왼쪽 심장을

논문접수일 : 2002년 5월 17일

책임저자 : 권무일, 서울시 동대문구 회기동 1번지

경희의료원 마취통증의학과, 우편번호: 130-702

Tel: 02-958-8595, Fax: 02-958-8580

E-mail: kwonmooil@yahoo.co.kr

통하여 전신의 장기로 퍼져 기이성 공기 색전(paradoxical air emboli)이⁸⁾ 뇌와 심근에 발생하여 심각한 합병증이 나타날 수도 있다. 또한 많은 양의 정맥 공기 색전은 오른쪽 심장의 후부하를 증가시키거나 심장 내에서는 air-lock으로 작용하여 심한 저혈압과 부정맥을 초래하여 생명을 위협할 수 있기 때문에 신속하고 정확한 진단과 치료가 필요하다.

저자들은 단일공 기관지 폐쇄구 튜브를 이용한 전신마취 하에 우측 폐상엽 절제술과 우측 폐하엽 상분절의 췌기 절제술 시행 후 흉곽내 사강을 감소시키기 위해 인위적인 기복술을 시행한 환자에서 발생한 대량 공기색전증에 의한 갑작스런 순환허탈을 경험하였기에 이를 보고하는 바이다.

증 례

환자는 평소 건강히 지내던 남자(52세, 48.5 kg)로 30여일 전부터 시작된 전신적인 무력감, 통증, 호흡곤란, 마른기침과 20 kg 가량의 체중감소를 주소로 내원하여 시행한 흉부 단층 촬영과 기관지경 검사, 경피적 세침 흡인검사(percutaneous needle aspiration, PCNA)상 우측 폐상엽의 기관-폐포 세포 종양(bronchoalveolar cell carcinoma)으로 보이는 비소세포암(non small cell carcinoma)과 좌측 폐상엽의 결핵종(tuberculoma)이 발견되어 우측 폐상엽 절제술과 우측 폐하엽 상분절의 췌기 절제술을 시행 받게 되었다.

과거력 상 결핵치료를 받은 경력은 없었고 수술 전 활력징후는 안정적이었으며 당뇨나 고혈압 등의 다른 질환은 없었다.

마취전처치로 술 전 30분에 glycopyrrolate 0.2 mg과 midazolam 2 mg을 근육주사하였고 수술실 도착 후

비침습적 자동 혈압계, 심전도, 호기말 이산화탄소 분압 측정기 및 맥박 산소측정기를 통해 환자 상태를 감시하면서 thiopental sodium 5 mg/kg과 succinylcholine 1 mg/kg을 정주하고 산소와 isoflurane으로 2분 정도 용수 환기한 후 단일공 기관지 폐쇄구 튜브(Univent tube[®])로 기관내 삽관을 시행하였다. 기관내 삽관 직후에는 vecuronium 0.1 mg/kg을 정주하고 굴곡성 기관지 내시경으로 기관지 폐쇄구의 위치를 확인하였고 지속적인 동맥압 측정과 동맥혈 가스분석 검사를 위해 좌측 요골동맥에 18 gauge 카테터를 거치하였으며 이를 통한 동맥혈 가스분석 검사는 카테터 거치 직후, 그리고 이후 2시간 간격으로 시행하였다(Table 1). 또한 추가 수액 공급로를 확보하기 위해서 우측 쇄골하 정맥에 중심정맥 카테터를 거치하였다. 마취 유지는 좌측와위에서 좌측 폐로 환기하면서 100% 산소와 isoflurane을 투여하였고 근 이완의 유지를 위하여 vecuronium 0.05 mg/kg을 간헐적으로 정주하였다.

우측 폐상엽 절제술과 우측 폐하엽 상분절의 췌기 절제술 도중 활력징후는 혈압이 140-100/90-70 mmHg, 심박수는 75-90 beats/min, 맥박 산소 포화도는 99-100%, 호기말 이산화탄소 분압은 30-33 mmHg로 유지하였고 또한 동맥혈 가스분석 검사도 정상범위 내로 유지되었다(Table 1).

수술을 시작한지 4시간 15분 후에 우측 폐상엽 절제술과 우측 폐하엽 상분절의 췌기 절제술이 끝났으며 이후 흉곽내 발생한 사강을 줄이기 위해 18 gauge 정맥주사침으로 개흉된 수술부위의 횡격막을 찢어 혈액이 흡인되지 않음을 확인한 후 50 ml 주사기로 750 ml의 공기를 복강내에 서서히 주입하였다. 3분 정도에 걸친 공기주입 직후 갑자기 좌측 요골동맥에

Table 1. Changes of Arterial Blood Gas Analysis Parameters before and after Venous Air Embolism

	Before VAE			After VAE			
	1 min	2 h	4 h	1 min	5 min	1 h	4 h (ICU)
pH	7.381	7.432	7.471	7.082	7.219	7.252	7.37
PCO ₂ (mmHg)	33.9	34.8	35.7	69.4	70.3	66.0	33.3
PO ₂ (mmHg)	376.4	483.7	526.4	50.4	339.8	335.8	133.2
SaO ₂ (%)	99.9	99.9	99.9	67.9	99.6	99.7	98.7

VAE: venous air embolism, SaO₂: arterial O₂ saturation, ICU: intensive care unit

거치한 카테터를 통한 동맥압이 40/30 mmHg로 급격히 떨어지고, 심박수가 20 beats/min으로 심한 서맥이 나타났으며 호기말 이산화탄소 분압이 4-8 mmHg로 떨어지고 맥박 산소 포화도는 80-82%로 측정되었다. 또한 심전도상의 심실성 조기수축과 ST분절의 하강이 관찰되어 마취제 투여를 중단하고 우측 기관지에 있던 폐쇄구의 cuff를 풀어 100% 산소로 양측 폐를 환기시키면서 lidocaine 50 mg, atropine 0.5 mg, ephedrine 40 mg을 정주하였고 이어 phenylephrine 0.75 µg/kg/min을 점적 정주하였다. 동시에 수액과 혈액을 빠른 속도로 주입했으며 환자의 머리를 낮춘 상태에서 수술자는 직접 심장마사지를 통해 심장의 운동을 도와주었고 환자의 상태를 알기 위해 바로 동맥혈 가스분석을 시행하였다(Table 1). 동맥혈 가스분석 검사결과와 위의 상황으로 미루어 공기색전증에 의한 순환허탈이 강력히 의심되어 수술자가 우심방을 22 gauge 척추 마취용 바늘로 천자 하였으며 주사기 내로 공기가 대량 흡인되는 것을 확인 후 더 이상 공기가 나오지 않을 때까지 공기를 흡인해 제거하였다. 공기흡인 후 약 2-3분 정도의 시간이 흐른 후 환자의 활력징후는 혈압이 80/50 mmHg, 심박수 55 beats/min, 호기말 이산화탄소 분압은 20 mmHg, 그리고 맥박 산소 포화도는 99-100%로 측정되었으며 심전도상의 심실성 조기수축은 없어졌으나 ST분절의 하강은 남아있었다. 이후 추가로 dopamine 8µg/kg/min을 지속 정주하였고 그 후 활력징후는 수술이 끝날 때까지 혈압은 130-110/70-60 mmHg, 심박수는 110-130 beats/min, 맥박 산소 포화도는 99-100%, 호기말 이산화탄소 분압은 28-36 mmHg로 유지되었으며 수술 종료 후 manometer를 이용한 혈압 감시하에 dopamine을 지속적으로 정주하면서 중환자실로 이송하였다. 중환자실 도착 후 흡입 산소농도(FiO₂) 0.6, 일회 호흡량 480 ml, 동시성 간헐적 강제환기(synchronized intermittent mandatory ventilation, SIMV) 14 breathes/min으로 기계적 보조환기를 시행하였다. 중환자실에서 환자의 혈압은 120-100/70-60 mmHg, 심박수는 95-105 beats/min, 맥박 산소 포화도는 98-100% 정도로 유지되었으며 ST분절 하강도 정상화되었다. 또한 술 후 4시간이 지난 후 중환자실에서 시행한 동맥혈 가스분석 소견도 정상화되었고(Table 1), 수술한 다음날 환자에게는 특이한 신경학적 증상이나 징후 등도 발견되지 않았다.

수술 후 3일째 오후에 환자의 자가 호흡이 충분하다고 판단되어 기관내 튜브를 발관한 후 Venturi 마스크를 통해 흡입 산소농도(FiO₂) 0.5로 산소투여를 지속했으며 지속정주하던 dopamine은 중지하였다. 수술 후 5일째에는 Venturi 마스크를 통한 산소의 투여 없이도 활력증후가 안정되어 일반 병실로 이송하였으며 이후 환자는 공기색전증으로 인한 후유증 없이 퇴원하였다.

고 찰

공기가 정맥내로 들어가면 폐혈관의 기계적 차단 및 신경성 원인으로 폐성 고혈압, 폐부종, 반사성 기관지 수축을 유발시키며 중심정맥압의 증가, 호기말 탄산가스의 감소를 초래하며 저혈압, 빈맥, 심부정맥, 심전도의 변화(ST분절의 하강, T파의 역전, 크고 뾰족한 P파), 경정맥의 울혈, 저산소증 등을 나타낸다.

염종훈 등은⁹⁾ 가토에서 0.1 ml/kg의 공기 주입으로 호기말 탄산가스의 감소가 의미 있게 나타났고 0.25 ml/kg의 공기주입 후 갑작스런 평균 동맥압의 감소와 PaCO₂의 증가가 지속되었으며 0.5 ml/kg 이상의 공기주입에서 심박수의 감소와 심전도의 이상이 의미 있게 나타났다고 보고하였다.

인체에서는 공기유입이 대체로 0.5 ml/kg/min 이상이면 증상이 나타나며 성인에서 치명적인 손상을 초래할 수 있는 공기량은 400-500 ml 정도로 추정하고 있으나¹¹⁾ 공기색전증의 위험도는 공기의 양보다 유입속도가 더 중요하며 거의 드물지만 과도한 정맥 공기색전증 시 우심실에서 폐동맥으로의 혈류차단이 일어나 우심실부전과 심혈관계허탈을 초래할 수 있다. 특히 아산화질소(N₂O)를 사용하는 마취에서는 기포내로 N₂O가 확산되어 기포의 크기가 증가되므로 공기색전증이 의심될 경우 N₂O의 사용을 피하는 것이 좋다.

폐엽 절제술을 받는 대부분의 환자에서 흉곽내 사강을 줄이기 위한 방법으로 인공적 기복술을 시행하지는 않지만 본 환자의 경우에서는 우측 폐상엽 절제술과 우측 폐하엽 상분절의 췌기 절제술을 시행함으로써 생긴 커다란 흉곽내 사강을 줄여주기 위해 인공적 기복술을 시행하였고 인공적 기복술 과정에서 주입한 공기의 일부가 복강내 장기 혹은 복벽의 혈관으로 흘러 들어가 공기색전증이 생긴 것으로 보이며 박학수와 오용석의¹⁰⁾ 경우에서도 폐엽 절제술

후 인공적 기복술로 인한 공기색전증을 경험한 것으로 보고되었다.

정맥 공기색전증의 진단방법은 경식도 심초음파(transesophageal echocardiography)와¹²⁾ 도플러 초음파(ultrasonic Doppler)를¹³⁾ 이용하는 것이 가장 예민하다고 하며 이외에도 호기말 질소감시(end-tidal nitrogen monitoring),^{14,15)} 호기말 탄산가스 농도변화, 폐동맥압의 변화, 식도 청진, 심전도 변화, 맥박 산소 포화도 등이 진단에 도움이 된다. 여기서 전흉부 도플러 장치(precordial Doppler)는 적당한 가격, 상대적인 사용의 편리함, 비침습적, 그리고 공기색전증에 상당히 예민하다는 면에서 정맥 공기색전증 시 기본적으로 사용할 수 있다. 경식도 심초음파의 경우는 심장내 모여있는 공기를 확인하는데 매우 민감하지만 고가의 장비인데다 수술실에 항상 준비되어 있지는 않기 때문에 갑작스러운 공기색전증 발생 시 진단을 위해 이용하기 어려운 면이 있다. 이외에 우심방 카테터(multiorifice right atrial catheter)는 우심방이나 우심실에서 공기의 흡인을 통하여 공기색전증의 확진뿐 아니라 치료에도 도움을 준다.

또한 공기색전증 시에 나타나는 호기말 탄산가스 농도변화는 폐혈관의 수축과 환기/관류비율의 변화가 일어난 후에 나타나고 청진상 들리는 mill wheel murmur는 이보다 더 늦게 나타나며 Swan-Ganz 카테터에 의한 폐동맥압의 변화는 훨씬 더 늦게 나타난다.

본 환자의 경우 공기색전증의 진단을 위해 전 흉부 도플러 장치나 경식도 심초음파를 이용하지는 못했지만 인공적 기복술을 위한 공기주입이 끝난 직후 나타난 여러 가지 상황(저혈압, 서맥, 심전도상의 변화, 호기말 이산화탄소분압의 감소, 맥박 산소 포화도의 변화, 동맥혈 가스분석 검사 등)으로 미루어 공기색전증 혹은 미주신경의 반응 증가 등이 강력히 의심되었고, 수술자의 우심방 천자를 통해 다량의 공기를 확인함으로써 공기색전증의 확진을 내릴 수 있었다.

일반적인 공기색전증의 치료방법으로는 심장 높이보다 수술부위를 낮게 하고, 수액으로 수술부위를 가득 채워 더 이상 공기가 들어가지 못하게 하는 것이 중요하며, 중심정맥 도관을 통한 공기의 흡입과 승압제 투여,¹⁶⁾ 수액부하 등의 방법으로 심박출량을 증가시켜 공기를 심장에서 말초 폐순환으로 내보내는 방법이 이용되고 있다.

본 환자의 경우에는 수술체위가 좌측와위였다는 점과 수술 중에 100% 산소를 사용하고 있었다는 점, 그리고 공기색전증 발생 시 신속하게 시행한 일련의 처치과정들이 환자의 치료효과와 예후에 도움이 되었으리라 사료되며 또한 인공적 기복술 직후 나타난 환자의 문제이기에 공기색전증으로의 빠른 진단을 내릴 수 있었던 점 역시 크게 도움이 되었다고 생각된다. 결론적으로 마취과 의사는 폐절제술 후 인공적 기복술 시행 시에는 대량 공기색전증의 발생 가능성을 항상 염두에 두고 충분한 환자 감시 장치를 이용하여 지속적인 환자 감시를 하여야 하며 공기색전증이 발생하였을 시에는 흉부외과 의사와 협조하여 신속한 처치를 시행하여야 환자의 생명을 구할 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. Black S: Venous air embolism. In: Problem in Anesthesia. Vol.9, No. 1. Edited by Prough DS, Zornow MH: Philadelphia, Lippincott-Raven Publishers. 1997, pp 113-24.
2. Hegde RT, Avatgere RN: Air embolism during anesthesia for shoulder arthroscopy. Br J Anaesth 2000; 85: 926-7.
3. Palmon SC, Moore LE, Lundberg J, Toung T: Venous air embolism: a review. J Clin Anesth 1997; 9: 251-7.
4. Jones NC, Howell CW: Massive arterial air embolism during cardiopulmonary bypass: antegrade blood cardioplegia delivered by the pump-an accident waiting to happen. Perfusion 1996; 11: 157-61.
5. 최인철, 김영생, 조성두, 송남원: 척추융합술 중 발생한 공기색전증. 대한마취과학회지 1998; 35: 777-80.
6. Frankel AS, Holzman RS: Air embolism during posterior spinal fusion. Can J Anaesth 1988; 35: 511-4.
7. Ely EW, Hite RD, Baker AM, Johnson MM, Bowton DL, Haponik EF: Venous air embolism from central venous catheterization: a need for increased physician awareness. Crit Care Med 1999; 27: 2113-7.
8. Gronert GA, Messick JM, Cucchiara RF, Michenfelder JD: Paradoxical air embolism from a patent foramen ovale. Anesthesiology 1979; 50: 548-9.
9. 엄중훈, 전중현, 이 청, 이동호, 김경현, 김교상 등: 가토에서 정주공기량에 따른 심전도 및 혈액가스변화. 대한마취과학회지 1990; 23: 200-5.
10. 박학수, 오용석: 인공적 기복술의 시행 중 발생한 정맥혈 공기색전증 1예. 대한마취과학회지 1996; 31: 118-

- 21.
 11. Michenfelder JD, Miller RH, Gronert GA: Evaluation of an ultrasonic device (Doppler) for the diagnosis of venous air embolism. *Anesthesiology* 1972; 36: 164-7.
 12. Muzzi DA, Lossarro TJ, Black S, Nishimura R: Comparison of transesophageal and precordial ultrasonic Doppler sensor in detection of venous air embolism. *Anesth Analg* 1990; 23: 200-5.
 13. 정진용, 이태현, 노운석, 조성경, 이상화: 제왕절개술 시 Ultrasonic Doppler에 의해 탐지된 정맥 공기 색전증의 발생빈도. *대한마취과학회지* 1995; 29: 858-62.
 14. Matjasko MJ, Hellman J, Mackenzie CF: Venous air embolism, hypotension and end-tidal nitrogen. *Neurosurgery* 1987; 21: 378-82.
 15. Matjasko J, Petrozza P, Mackenzie CF: Sensitivity of end-tidal nitrogen in venous air embolism detection in dogs. *Anesthesiology* 1985; 63: 418-23.
 16. Archer DP, Pash MP, MacRae ME: Successful management of venous air embolism with inotropic support. *Can J Anaesth* 2000; 48: 204-8.
-