

## Cavitron Ultrasonic Surgical Aspirator<sup>®</sup>로 간 절제 시 경식도초음파를 이용한 공기색전증의 발생 빈도와 정도

연세대학교 의과대학 마취통증의학교실 및 \*마취통증의학연구소, † 외과학교실, ‡ 가천의과대학교 마취과학교실

이동철<sup>‡</sup> · 길혜금\* · 최진섭<sup>†</sup> · 홍용우\* · 주승택 · 구본녀\*

### The Incidence and Severity of Venous Air Embolism Determined by Transesophageal Echocardiography in Hepatic Resection Using a Cavitron Ultrasonic Surgical Aspirator Dong

Dong Chul Lee, M.D.<sup>‡</sup>, Hae Keum Kil, M.D.\* , Jin Seob Choi, M.D.<sup>†</sup>, Yong Woo Hong, M.D.\* , Sueng Teck Joo, M.D., and Bon Nyeo Koo, M.D.\*  
Department of Anesthesiology & Pain Medicine and \*Anesthesia & Pain Research Institute, † Department of Surgery, Yonsei University College of Medicine, Seoul, ‡ Department of Anesthesiology, Gachon Medical School, Incheon, Korea

**Background:** A new technique resecting the hepatic parenchyma without inflow occlusion using a Cavitron Ultrasonic Surgical Aspirator (CUSA<sup>®</sup>) reduces intraoperative blood loss and perioperative morbidity. This study was designed to identify the incidence and severity of venous air embolism (VAE) using transesophageal echocardiography (TEE) in hepatic resection using CUSA<sup>®</sup>.

**Methods:** Forty patients undergoing hepatic resection using CUSA<sup>®</sup> of ASA class 1 and 2 were selected. After insertion of an epidural catheter for postoperative analgesia, all patients were anesthetized with sevoflurane in 50% air/O<sub>2</sub>. After the induction of anesthesia, a TEE probe was inserted into the esophagus. Blood pressure, heart rate, central venous pressure, end tidal CO<sub>2</sub>, and arterial carbon dioxide tension were recorded after induction, and during and after hepatic resection. During hepatic resection, an anesthesiologist evaluated the degree of VAE by transesophageal echocardiography in the 4-chamber view.

**Results:** The mean time of using CUSA<sup>®</sup> was 65.3 ± 24.4 minutes. Of 40 patients, 9 had VAE grade I, 14 grade II, 14 grade III, and 3 grade IV. However, no significant difference was observed in hemodynamics or PaCO<sub>2</sub> after induction, or during or after hepatic resection. The mean amount of blood loss was 887.0 ml ± 598.8 ml and the mean transfused amount was 123.1 ± 351.3 ml.

**Conclusions:** All patients showed air embolism during hepatic resection with CUSA<sup>®</sup>. Serious complications associated with air embolism would occur in patients with an undiagnosed intracardiac right to left shunt. Therefore, meticulous monitoring by transesophageal echocardiography might be recommended in hepatic resection with CUSA<sup>®</sup>. (Korean J Anesthesiol 2004; 47: 64~68)

**Key Words:** air bubbles, CUSA<sup>®</sup>, hepatic resection, transesophageal echocardiography.

### 서 론

최근 간 절제의 새로운 기법으로 임상에 도입된 CUSA<sup>®</sup> (Cavitron Ultrasonic Surgical Aspirator, Valleylab, Boulder, CO, USA)는 간 실질을 흡인하는 동시에 잔존하는 Glisson

구조를 절찰하여, 술 중 절단 단면의 출혈을 상당히 감소시킬 뿐만 아니라, 사망률을 줄임으로써 간 절제술 시 외과적 표준 장비가 되었다.<sup>1-3)</sup>

일반적으로 정맥내 공기 색전증은 반좌위 상태로 수술 받거나<sup>4)</sup> 혹은 복강경 수술 시에<sup>5,6)</sup> 주로 생길 수 있는 합병증이며 양와위로 개복 수술 시에는 잘 발생하지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 최근 전기소작술,<sup>7)</sup> 아르곤-강화 응고술(argon-enhanced coagulation),<sup>8,9)</sup> 수분제트박리술(water jet dissection),<sup>10)</sup> 마이크로파 응고술(microwave coagulation), 고주파 절제술(radiofrequency ablation)과<sup>11)</sup> 같은 몇몇 간 시술 시에 정맥 내 공기 색전증이 발생했다는 보고들이 있다.

이에 본 연구는 CUSA<sup>®</sup>를 사용하여 간을 절제할 때 공기

논문접수일 : 2004년 3월 4일

책임저자 : 구본녀, 서울시 서대문구 신촌동 134번지

신촌세브란스병원 마취통증의학교실, 우편번호: 120-752

Tel: 02-361-5847, Fax: 02-312-7185

E-mail: koobn@yumc.yonsei.ac.kr

색전증이 발생하는 빈도와 정도를 경식도심초음파를 이용하여 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

간암, 전이성 간암, 간도내 담석, 생체 간 공여자로서 CUSA<sup>®</sup>로 계획된 간 절제술을 시행받는 미국마취과신체등급 1, 2에 해당하는 남녀 환자 40명을 대상으로 하였다. 간경변으로 인해 식도정맥류가 심한 환자들은 제외하였다. 대상 환자들의 성별은 남자가 28명, 여자가 12명이었으며, 연령은 51.3 ± 13.8세였다. 간암 환자는 18 명이었으며, 우측 간엽절제술이 19예이었다(Table 1).

환자들을 수술 전날 면담하여 경식도심초음파의 필요성에 대하여 설명하였으며 서면으로 동의를 받았다. 수술실

도착 30분 전에 마취전투약으로 glycopyrrolate 0.2 mg과 midazolam 2.0 mg을 근주하였다.

수술실에 도착한 후 심전도, 자동혈압계, 맥박산소포화도 측정기를 거치하였으며, 술 후 진통을 위해 경막외카테터를 삽입하였다. Fentanyl, thiopental sodium과 rocuronium으로 마취를 유도한 후 기관 내 삽관을 시행하였으며 50% O<sub>2</sub>와 공기, sevoflurane으로 마취를 유지하였다. 마취유도 후 동맥압과 중심정맥압을 지속적으로 감시하기 위하여 우측 요골동맥과 우측 경정맥에 카테터를 삽입하였으며 요량 측정을 위해 도뇨관을 삽입하였다. 환자의 혈액학적 징후가 안정화된 후 환자의 입을 통해 Levin tube를 삽입하여 위내용물을 가능한한 흡입기로 흡입한 후 경식도심초음파를 입으로 삽입하여 중간 식도 높이에서 4-방 영상이 잘 보이도록 조정하였다. CUSA<sup>®</sup>로 간을 절제하는 동안 경식도심초음파를

Table 1. Diagnosis and the Name of Operation

Diagnosis (n = 40)		Operation (n = 40)	
HCC	18	Wedge resection	10
Metastasis	11	Left lobectomy	9
IHD stone	3	Right lobectomy	19
Living hepatic donor	6	Trisegmentectomy	2
Others	2		

All values are numbers of the patients. HCC: hepatic cellular carcinoma, IHD stone: intrahepatic ductal stone.

Table 2. The Degree of the Venous Air Embolism Assessed Using the Transesophageal Echocardiography

Stage	Transesophageal echocardiography
0	No emboli in RA, RV and RVOT
I	Several air bubbles in RA, RV and RVOT
II	Air bubbles filling < 1/2 the diameter of RA, RV and RVOT
III	Air bubbles filling > 1/2 the diameter of RA, RV and RVOT
IV	Air bubbles completely filling the diameter of RA, RV and RVOT

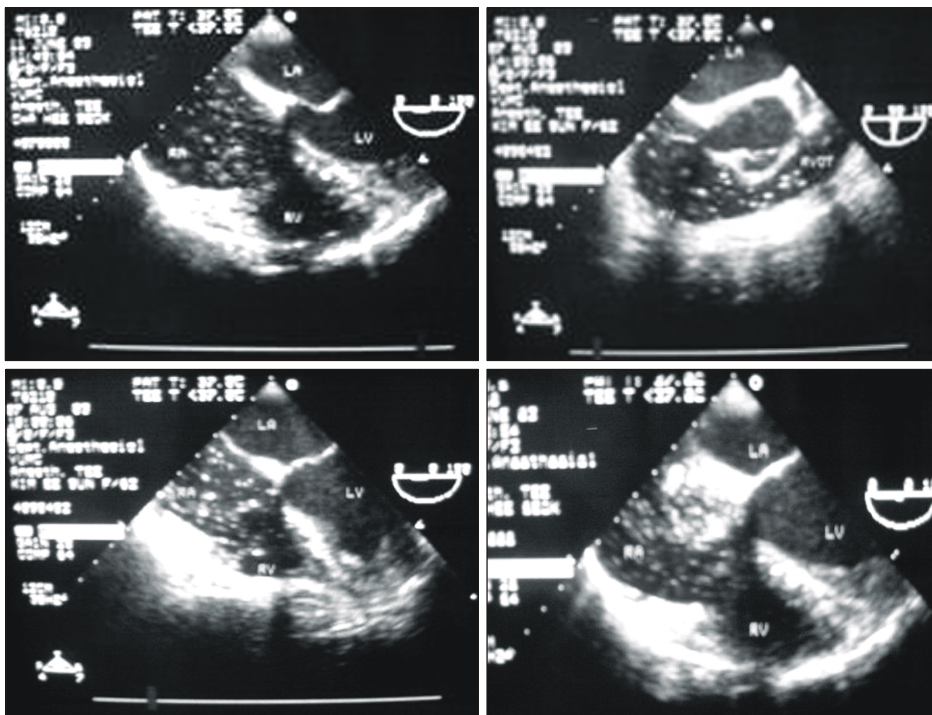


Fig. 1. The air embolism detected using transesophageal echocardiography. Top left: many air bubbles entered right heart. Top right: air bubbles went through right ventricular outlet. Bottom left and right: the mass of air bubbles were gushed out. RA: right atrium, RV: right ventricle, LA: left atrium, LV: left ventricle, RVOT: right ventricular outlet.

이용하여 4-방 영상에서 공기 색전을 관찰하면서 모두 비데오 테이프를 기록하였다. 마취유도 후, 간절제 시, 간절제 후에 혈압, 심박수, 중심정맥압, 호기말 이산화탄소분압, 동맥 이산화탄소분압을 기록하였으며 아울러 출혈량과 수혈량도 측정하였다.

녹화된 테이프를 취합하여 한 명의 마취의가 공기 색전의 정도에 따라 등급을 결정하였다(Table 2).<sup>12)</sup>

통계자료는 평균 ± 표준편차로 기술하였으며, 각 시점별 혈압, 심박수, 중심정맥압, 호기말 이산화탄소분압, 동맥 이산화탄소분압은 repeated measures ANOVA test로 비교, 검증하였고, P값이 0.05 미만인 경우 유의한 차이가 있는 것으로 판정하였다.

결 과

CUSA<sup>®</sup> 사용 시간은 평균 65.3 ± 24.4 분이였다.

40명의 환자 모두에서 공기 색전이 관찰되었으며 그 중 9명에서 grade I, 14명에서 grade II, 14명에서 grade III, 3명에서 grade IV의 공기 색전이 발생하였다. 그러나 좌측 심장에서 공기 색전이 관찰된 예는 하나도 없었다(Fig. 1).

혈압, 심박수, 중심정맥압, 호기말 이산화탄소분압 및 동맥 이산화탄소분압은 마취유도 후, 간절제 시, 간절제 후에 유의한 차이를 보이지 않았으며(Fig. 2) 그 외 다른 합병증도 나타나지 않았다.

출혈량은 887.0 ± 957.4 ml였으며, 수혈량은 123.1 ± 351.3 ml였다.

고 찰

CUSA<sup>®</sup>를 이용한 간 절제 시 모든 환자에서 공기색전증이 발생하였으며, 40명의 환자 중 17명에서 미세 공기방울이 우심방, 우심실의 절반 이상을 차지하는 것을 경식도심초음파 상에서 관찰할 수 있었다. 그러나 혈압, 심박수, 중심정맥압, 호기말 이산화탄소분압 및 동맥 이산화탄소분압의 변동은 없었으며, 그 외 별다른 합병증도 발생하지 않았다.

CUSA<sup>®</sup>는 간 실질 조직을 흡입하면서 잔존하는 Glisson 조직을 결찰하여 간 절제 단면으로부터 출혈을 상당히 감소시킨다. 그러나, CUSA<sup>®</sup> 사용에도 불구하고 손상 받기 쉬운 말초의 Glisson 조직과 극세 간정맥을 연속적으로 결찰하는 것은 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 실제로는 거의 불가능하다. 그로 인해 지연된 출혈과 담즙이 누출되며 미세한 혈관들의 균열로 절제 단면에서 출혈이 계속된다. 간정맥으로부터의 지혈이 중요한데 이를 위해 단극성 또는 양극성 소작기가 사용되지만 굳어진 조직이 들러붙어 소혈관들에 균열이 생기게 되므로 생리 식염수로 세척하는 동

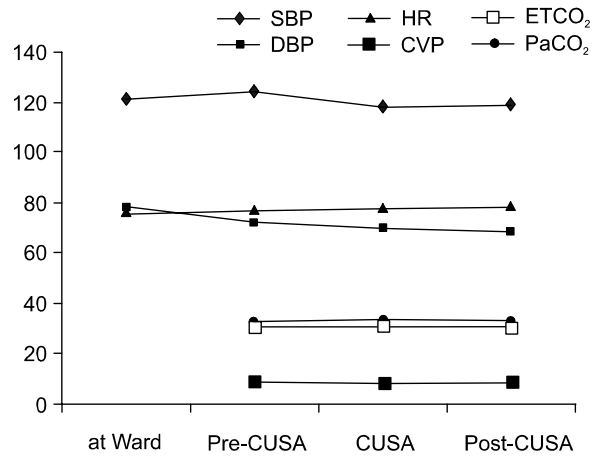


Fig. 2. The changes of systolic blood pressure, diastolic blood pressure, heart rate, central venous pressure, end-tidal CO<sub>2</sub> and arterial CO<sub>2</sub> partial pressure. SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, HR: heart rate, CVP: central venous pressure, ETCO<sub>2</sub>: end-tidal CO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub>: arterial CO<sub>2</sub> partial pressure. These values were recorded the day before operation (at Ward), after induction (Pre-CUSA), during hepatic resection (CUSA) and after hepatic resection (Post-CUSA) using CUSA<sup>®</sup>. There were no differences.

시에 양극성 소작기와 함께 CUSA<sup>®</sup>를 사용하면 혈액 유입의 차단 없이 간 실질을 절제할 수 있다. 이 술기를 사용하면 간엽을 당기거나 간문부(hilum)의 inflow 혈관들을 결찰하지 않고도 간의 앞면으로부터 용이하게 절제할 수 있다.<sup>3)</sup>

공기가 정맥 내로 들어가면 폐혈관의 기계적 차단 및 신경성 원인으로 폐성 고혈압, 반사성 기관지 수축을 유발시키며 중심정맥압의 증가, 호기말 탄산가스의 감소를 초래하여 저혈압, 빈맥, 심부정맥, 심전도의 변화(ST분절의 하강, T파의 역전, 크고 빠른 P파), 경정맥의 울혈, 저산소증 등을 나타낸다. 기니픽에서는 0.1 ml/kg의 공기 주입으로 호기말 탄산가스의 감소가 의미 있게 나타났고, 0.25 ml/kg의 공기 주입 후 갑작스러운 평균 동맥압의 감소와 동맥혈 이산화탄소분압의 증가가 지속되었으며 0.5 ml/kg 이상의 공기 주입에서 심박수의 감소와 심전도의 이상이 나타났다.<sup>13)</sup> 사람에서는 0.5 ml/kg/min 이상의 공기가 유입되면 증상이 나타나며 치명적인 손상을 초래할 수 있는 공기량은 400-500 ml 정도로 추정하고 있으나<sup>14)</sup> 공기 색전증의 위험도는 공기의 양보다 유입속도가 더 중요하다.<sup>15)</sup> 드물지만 과도한 정맥 공기 색전증 시 우심실에서 폐동맥으로의 혈류가 차단되어 우심실 부전과 심혈관계 허탈을 초래할 수 있다. 특히 이산화질소를 사용하는 마취에서는 기포 내로 이산화질소가 확산되어 기포의 크기가 증가되므로 공기 색전증의 의심될 경우 이산화질소의 사용을 피하는 것이 좋다.

적은 양의 공기는 대개 오른편 심장을 통해 폐 소동맥으로 들어가지만 때때로 심방 중격의 난원공개존(patent for-

men ovale)이 있을 때 양압 환기를 하게 되면 심장 내 우좌 선트가 일어나게 되어 왼쪽 심장을 통하여 전신의 장기로 퍼져 기이성 공기 색전(paradoxical air emboli)이 뇌와 심근에 발생하여 심각한 합병증이 나타날 수도 있다.<sup>16)</sup> 또한 많은 양의 정맥 공기 색전은 오른쪽 심장의 후부하를 증가시키거나 심장 내에서는 air-lock으로 작용하여 심한 저혈압과 부정맥을 초래하여<sup>17)</sup> 생명을 위협할 수 있기 때문에 신속하고 정확한 진단과 치료가 필요하다.

정맥 공기 색전증의 진단은 경식도심초음파 혹은 도플러 초음파를 이용하는 것이 예민하며 이외에도 호기말 질소감시(end-tidal nitrogen monitoring), 호기말 탄산가스 농도 변화, 폐동맥압의 변화, 식도 청진, 맥박 산소 포화도 등이 진단에 도움이 된다. 우심방 카테터는 우심방이나 우심실에서 공기의 흡인을 통하여 공기 색전증의 확진 뿐 아니라 치료에도 도움을 준다. 또한 공기 색전증 시 나타나는 호기말 탄산 가스 농도변화는 폐혈관의 수축과 환기/관류 비율의 변화가 일어난 후에 나타나고 청진상 들리는 심잡음(mill wheel murmur)은 이보다 더 늦게 나타나며 Swan-Ganz 카테터에 의한 폐동맥압의 변화는 훨씬 더 늦게 나타난다. 도플러 초음파는 공기 색전증 진단에는 민감하지만 전기소작기(electrocautery)를 사용할 때에는 전파 간섭 때문에 이런 경우 효용성이 떨어진다. 경식도초음파는 심장에 모여 있는 공기를 확인하는데 가장 민감하며 전기소작기를 사용하더라도 큰 영향 없이 유용하다. 특히 술 전 진단되지 않은 개존난원공을 통해 양압 환기 하에서 심장 내 우좌 선트가 일어나게 되면, 기이성 공기 색전증으로 인한 심각한 합병증이 예상되므로, CUSA<sup>®</sup>를 이용한 간 절제 시 경식도심초음파 등의 세심한 환자 감시가 요구된다. 그러나 워낙 고가의 장비로서 대부분의 수술실에 비치되어 있지 않기 때문에 기본적인 감시 장치로 사용하기는 어렵다. 본 연구 결과 CUSA<sup>®</sup>로 간 절제를 시행받은 40명의 환자 모두에서 공기 색전증이 경식도초음파 상에서 진단되었고 3명에서는 오른쪽 심장을 거의 모두 채울 정도의 미세 공기방울이 유입되었으나 혈압, 중심정맥압, 호기말 탄산 가스 농도, 산소 포화도 등에 별 변화가 없었다. 즉 CUSA<sup>®</sup>로 간 절제 시 미세 공기 방울이 간정맥을 통해 하대정맥을 거쳐 우측 심장으로 유입되지만 그 크기가 작고 속도가 빠르지 않아 심혈관계 허탈을 일으키지 않고 대부분 폐 소동맥을 통해 흡수되는 것으로 생각된다. 그러나 개존난원공이 어떤 보고에 의하면 27.1%에서 존재한다고 하는데<sup>18)</sup> 이런 경우에 양압 환기를 하게 되면 예상치 못했던 심장내 우좌 선트가 발생할 수 있다.<sup>16)</sup>

그러므로 CUSA<sup>®</sup>를 사용하여 간을 절제할 때는 공기 색전증이 일어날 수 있다는 점을 유념해서 이산화질소의 사용을 피하고, 술 전 우심방 카테터를 거치하는 등 조기 진

단과 치료를 할 수 있도록 술 전부터 세심하게 준비하여야 한다. 또한 혈액학적 변수들의 변화나 호기말 탄산가스가 감소하는 등의 공기 색전증을 시사하는 소견이 관찰되면 지체 없이 공기 색전증에 준하는 처치를 해야 한다. 즉, 심장 높이보다 수술 부위를 낮게 하고, 수액으로 수술 부위를 가득 채워 더 이상 공기가 들어가지 못하게 하는 것이 중요하며 중심 정맥 도관을 통한 공기의 흡인과 승압제 투여, 수액 부하 등의 방법으로 심박출량을 증가시켜 공기를 심장에서 말초 폐순환으로 내보내도록 해야 한다.

결론적으로, CUSA<sup>®</sup>를 사용하여 간을 절제할 때는 모든 환자에서 공기 색전증이 발생하였으며 거의 절반의 환자에서 우심방과 우심실의 반 이상을 채우는 정도의 공기 색전이 발생하였다. 이에 저자들은 술 전에 공기 색전증에 대비하여 세심한 환자 감시와 조기 대처가 반드시 필요함을 권고하는 바이다.

## 참 고 문 헌

1. Storck BH, Rutgers EJ, Gortzak E, Zoetmulder FA: The impact of the CUSA ultrasonic dissection device on major liver resections. *Neth J Surg* 1991; 43: 99-101.
2. Fasulo F, Giori A, Fissi S, Bozzetti F, Doci R, Gennari L: Cavitron Ultrasonic Surgical Aspirator (CUSA) in liver resection. *Int Surg* 1992; 77: 64-6.
3. Yamamoto Y, Ikai I, Kume M, Sakai Y, Yamauchi A, Shinohara H, et al: New simple technique for hepatic parenchymal resection using a Cavitron Ultrasonic Surgical Aspirator<sup>®</sup> and bipolar cautery equipped with a channel for water dripping. *World J Surg* 1999; 23: 1032-7.
4. Papadopoulos G, Kuhly P, Brock M, Rudolph KH, Link J, Eyריך K: Venous and paradoxical air embolism in the sitting position: a prospective study with transesophageal echocardiography. *Acta Neurochir* 1994; 126: 140-3.
5. Diakun TA. Carbon dioxide embolism: successful resuscitation with cardiopulmonary bypass: *Anesthesiology* 1991; 74: 1151-3.
6. Hashizume M, Takenaka K, Yanaga K, Ohta M, Kajiyama K, Shirabe K, et al: Laparoscopic hepatic resection for hepatic cellular carcinoma. *Surg Endosc* 1995; 9: 1289-91.
7. Hatano Y, Murakawa M, Segawa H, Nishida Y, Mori K: Venous air embolism during hepatic resection. *Anesthesiology* 1990; 73: 1282-5.
8. Veyckemans F, Michel I: Venous air embolism from an argon coagulator. *Anesthesiology* 1996; 85: 443-4.
9. Palmer M, Miller CW, van Way CW III, Orton EC: Venous gas embolism associated with argon-enhanced coagulation of the liver. *J Invest Surg* 1993; 6: 391-9.
10. Smith JA: Possible venous air embolism with a new water jet dissector. *Br J Anaesth* 1993; 70: 446-7.
11. Nakayama R, Yano T, Mizutamari E, Ushijima K, Terasaki H:

- Possible pulmonary gas embolism associated with localized thermal therapy of the liver. *Anesthesiology* 2003; 99: 227-8.
12. Schmandra TC, Mierdl S, Bauer H, Gutt C, Hanisch E: Transoesophageal echocardiography shows high risk of gas embolism during laparoscopic hepatic resection under carbon dioxide pneumoperitoneum. *Br J Surg* 2002; 89: 870-6.
  13. Yeon JH, Jun JH, Lee C, Lee DH, Kim KH, Kim KS, et al: Changes of EKG & arterial blood gas at venous air embolism in rabbits. *Korean J Anesthesiol* 1990; 23: 200-5.
  14. Michenfelder JD, Miller RH, Gronert GA: Evaluation of an ultrasonic device (Doppler) for the diagnosis of venous air embolism. *Anesthesiology* 1972; 36: 164-7.
  15. Adomato DC, Gildeberg PL, Ferrario CM, Smart J, Frost EAM: Pathophysiology of intravenous air embolism in dogs. *Anesthesiology* 1978; 49: 120-7.
  16. Bainbridge DT, Iglesias I, Dain S: TEE detection of paradoxical air embolism in a patient with a sinus venosus atrial septal defect. *Heart Surg Forum* 2003; 6: 207.
  17. Chae HS, Kwon MI: Fatal venous air embolism during lung surgery. *Korean J Anesthesiol* 2002; 43: 121-5.
  18. Kerut EK, Norfleet WT, Plotnick GD, Giles TD: Patent foramen ovale: a review of associated conditions and the impact of physiological size. *J Am Coll Cardiol* 2001; 38: 613-23.
-