

기화기 고장으로 발생한 전신마취 중 각성

— 증례보고 —

서울대학교 의과대학 서울대학교병원 마취통증의학과, *울산대학교 의과대학 서울아산병원 마취통증의학교실

설태경 · 심지연* · 박희연 · 안원식

Awareness during General Anesthesia due to Vaporizer Malfunction - A case report -

Tai Kyung Seol, M.D., Jiyeon Sim, M.D.*, Hee Yeon Park, M.D., and Wonsik Ahn, M.D.

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Seoul National University Hospital, Seoul National University College of Medicine;

*Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul, Korea

We report a case of awakening during general anesthesia due to a vaporizer malfunction. The sevoflurane vaporizer had a hole through which approximately 20% of fresh gas escaped. The gas in the common gas outlet contained only 60% of the sevoflurane stated on the vaporizer setting. Moreover, the gas monitor module was out of order, and the heart rate and blood pressure were stable. As a result, we were unaware of the low sevoflurane concentration. The leakage through the hole could not be detected with the commonly used low-pressure system leak checking method. The implication of this case is that unexpected awakening can occur in patients with stable vital signs with an inhalation anesthesia. Therefore, more attention is needed to detect the level of patient awareness. (**Korean J Anesthesiol 2007; 52: 578~81**)

Key Words: awareness, preanesthesia machine check, sevoflurane, vaporizer malfunction.

의학이 발전하면서 현대 의료는 많은 장비를 사용하고 있다. 새롭고 다양한 장비의 사용과 더불어 장비 오류 점검과 사용법 교육이 전공의 교육의 중요 항목이 되고 있다. 이번 증례는 기화기의 고장으로 인해 전신마취 후 환자가 마취 중 각성을 호소하였기에 원인 분석과 함께 보고하는 바이다.

증례

전립선 비대증이 있어 alpha-blocker인 terazosin 4 mg을 매일 복용하는 58세, 84 kg의 남자 환자가 전신마취하에 수술을 받았다. 환자는 혈당이 약간 높은 것(111-129 mg%, 정상 70-110 mg%) 이외에는 특이사항이 없었다. 마취유도는 thiopental 400 mg, rocuronium 50 mg, 산소 4 L/min, sevoflurane 기화기(Sigma Delta, Penlon, Abingdon, UK) 다이알 농도 6%로 하였다. 기관 내 삽관을 시행한 후 산소 1 L/min, 공기 2 L/min, sevoflurane 기화기 농도 3-4%로 마취

를 유지하였다. 마취유도 30분 후 수술을 시작할 때 환자가 움직여서 sevoflurane 기화기 다이알을 3%에서 4%로 올리면서 rocuronium 10 mg을 투여하였다. 이 때 기화기에서 sevoflurane 액체가 흘러나오기 발견되어, 투입구를 잘 잠그고 액체가 흘러나오지 않음을 확인하고 마취를 유지하였다. 이 때 확인한 마취제의 잔여량은 전체의 4/5 정도 되었다. 마취시간 1시간 20분 동안 환자의 활력 징후는 맥박수 분당 74-86회, 수축기 혈압 117-164 mmHg, 평균 혈압 91-125 mmHg, 이완기 혈압 75-103 mmHg으로 큰 변동은 보이지 않고 안정적이었다.

이 당시 환자 감시 장치(Solar 8000MTM, GE Medical System, Milwaukee, WI, USA) 중 마취가스 부분이 고장이어서 sevoflurane 가스농도는 측정하지 못하였고, 호기말 이산화탄소(37-39 mmHg)만 측정하였다. 수술 중 sevoflurane은 3-4% 다이알 설정으로 유지하였고, 마취유도 후 1시간 경에 rocuronium 10 mg을 추가로 투여하였다. 수술이 끝날 때 기화기내 마취제 잔여량이 1/5 정도 되어 50분 사이에 과도하게 소모되었음이 관찰되었다. 마취 회복 직후 환자가 '수술 중 죽는 줄 알았다. 몸은 못 움직이는데, 아프고 의사들의 말소리를 들었다'고 하였다. 또한, 수술 방포를 걷었을 때, 몸통과 다리 부위에 다량의 발한이 있었음을 관찰할 수 있

논문접수일 : 2006년 12월 18일

책임저자 : 안원식, 서울시 종로구 연건동 28

서울대학교병원 마취통증의학과, 우편번호: 110-744

Tel: 02-2072-3087, Fax: 02-747-5639

E-mail: aws@snu.ac.kr

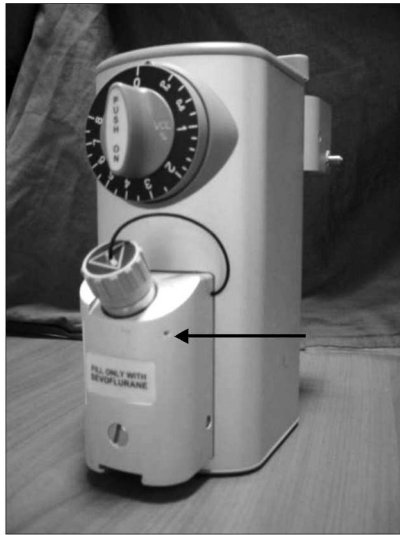


Fig. 1. Sevoflurane vaporizer (Sigma Delta, Penlon). Arrow indicates the leaking hole, through which 16–18 percent of fresh gas leaks.

Table 1. The Amount of Leaked Gas via a Hole in the Sigma Delta Vaporizer

Fresh gas (oxygen) (L/min)	Sevoflurane 3% (ml/min)	Sevoflurane 5% (ml/min)	Average (ml/min)	Leakage percent (%)
2	300	300	300	15
3	480	480	480	16
4	720	680	700	18
5	800	800	800	16
6	1,200	1,150	1,175	20
7	1,320	1,350	1,335	16
8	1,450	1,440	1,445	18

수술 후 마취기의 상태를 재점검하였으나, low pressure system, breathing system에 가스 유출(leak)을 발견할 수 없었다.¹⁾ 따라서, 기화기의 고장 여부를 점검하기 위해 먼저 배출 가스 농도를 측정하였다. 배출 가스 농도 측정은 마취기 (Dameca 10940, Dameca, Copenhagen, Denmark)의 혼합 가스 배출기(common gas outlet)에 가스 측정기(Capnomac Ultima™, Datex, Engstrom, Finland)의 가스 흡입선을 설치하고, 1 L 부터 8 L까지 1 L 간격으로 신선 가스 용량을 각각 선택하면서 기화기 다이얼을 6가지로 설정(0.6, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 8.0%)하여 조절하면서 측정하였다. 전반적으로 다이얼 설정의 60%의 가스가 혼합 가스 배출기로 나왔고, 증례에서 사용한 신선 가스 3 L일 때, 다이얼 설정 3%에서는 1.8%가 나왔고, 4%에서는 2.5%가 나왔다. 또한, 상기의 측정과정 중 기화기의 투입구 옆 구멍(Fig. 1)으로 빠져 나오는 가스(정상 기화기에서는 0 ml)가 있는 것을 발견하고, 그 양을 측정하기 위해 Fig. 2와 같이 설치하여 신선가스 유량 2–8 L를 1 L 간격으로 조정하면서 sevoflurane 기화기 농도를 3%와 5%로 설정하여 새는 가스 양을 측정하였다. 측정 결과 약 16–18% 가량의 신선 가스가 구멍으로 새는 것을 관찰할 수 있었다(Table 1). 두 가지 실험 모두 마취제 투입구 마개는 최대한 조이고 실험을 시행하였다.

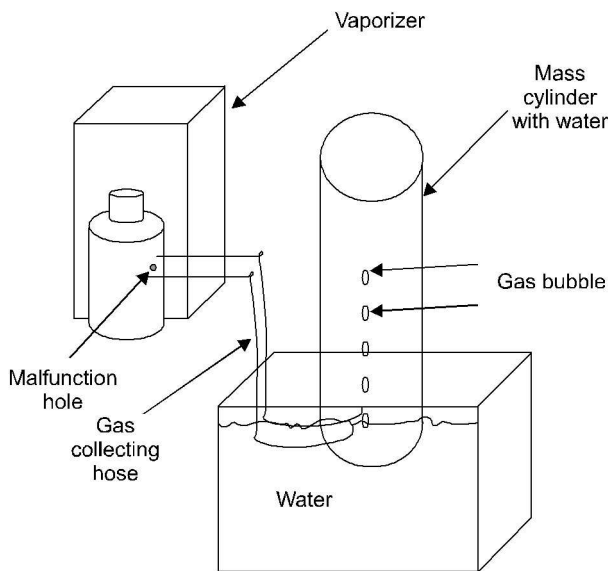


Fig. 2. Schematic representation of collection method of leaking gas. The leaking hole is attached to one end of a rubber hose sealed with transparent tapes. The other end of the rubber hose is immersed into water in a bath. Because the mass cylinder is filled with water, it can measure the amount of the leaking gas. The fresh gas amount is set from 2 to 8 L with a liter interval and vaporizer setting is set at 3% and 5%. The percent of leaking gas compared to fresh gas is around 16 to 18 (Table 1).

었다. 회복실에서 다시 질문한 결과 수술의 첫 부분에 대해서는 기억을 하지 못하지만 수술 중에는 visual analogue score 10/10 정도의 통증과 각성을 경험하였다고 대답하였다.

고 찰

이번 증례에서 전신마취를 유지하면서 각성이 일어나게 된 원인을 살펴보면, 기화기의 구멍에서 마취가스가 새어나오고 있었으나 마취 전 점검에서는 검출될 수 없었고, 환자 감시 장치의 고장으로 흡입 마취제 농도를 알 수 없었다. 마취유도할 때는 고농도의 설정으로 인해 의식이 깨지 않다가, 낮은 흡입마취제 농도의 가스가 들어감에 따라 마취 심도가 낮아지고, 반사적인 움직임이 있었으나 근육 이완제 투여로 더 이상 환자의 움직임이 없었으며, 환자의 활

력 징후가 안정적이었으므로 낮은 흡입마취제 농도를 의심하기 어려웠다. 또한, 마취 초반에 기화기에서 마취제가 센 것을 발견하였으나 투입구 마개가 느슨하여 생긴 것으로 착각하여 더 잠근 후에는 새어 나오는 마취가스를 알아차리지 못하게 되었다.

마취 가스 농도 측정기가 설치되어 있지 않아 정확히 얼마의 sevoflurane이 환자 흡기 중에 포함되어 있었는지를 추정하기는 쉽지 않다. 그렇지만, 증례 후 가스 농도 측정에서 알 수 있듯이 많아야 다이얼 설정의 약 60% 이하의 마취가스가 투여되었을 것으로 생각된다. 또한, 초반에 기화기 내 마취제 투입구가 불완전하게 조여져서 마취제가 센 것으로 생각하여 더 조였으나, 수술이 끝날 즈음에 마취제가 1/5만 남은 것을 고려하면 기화기 투입구 마개의 조임에도 불구하고, 기화기 투입구 옆 구멍으로 누출된 양이 증례 후 실험(Table 1)보다 더 많았을 것으로 예상된다. 이 증례에서 마개의 조임 정도가 어느 정도였는지 확인할 수 없었기에 증례 후 실험 설정(Table 1)에서는 마개를 최대한 조였고, 실제 증례에서는 이 보다는 덜 조여졌을 것으로 추정되기 때문에, 더 많은 마취제가 투입구 옆 구멍으로 나갔고 환자에게는 증례 후 실험보다도 더 낮은 농도의 가스가 공급되었을 것이다. 참고로, 통상적인 조임 정도로 비교하였을 때 같은 종류의 다른 기화기에서는 전혀 새지 않지만, 유출이 발생한 기화기에서는 손가락을 가져다 대면 알아차릴 정도의 다량의 가스가 새어 나왔다. 따라서, sevoflurane의 최소폐포농도(minimum alveolar concentration)가 1.71이고,²⁾ MAC awake가 0.5 MAC임을 감안해 보면, 1% 이하의 sevoflurane이 증례의 환자에게 투여되었을 것으로 추정된다.

그리고, 마약성 진통제를 투여하지 않은 상태에서 각성이 일어났지만 환자의 활력 징후에 별 변화가 없었던 것은, 예상하기 어려운 특이한 현상으로 어떤 기전으로 활력 징후가 변화하지 않았는가는 향후 연구되어야 할 과제라고 생각한다.

마취 중 각성은 매우 커다란 정신적 피해를 입힐 수 있다.³⁾ 그래서, 성인과 소아 모든 분야에서 각성에 대한 발생률(약 0.1%) 조사와 각성 감시에 대한 연구가 진행되고 있고,^{4,7)} 국내에서도 제왕절개 수술을 중심으로 한 연구 보고가 있다.⁸⁻¹⁰⁾ 이러한 각성을 줄이기 위해 원인 조사를 한 결과를 보면, 흡입마취제의 저농도 투여가 전체의 약 40%를 차지하고 있고, 흡입마취제의 저농도 투여의 대부분은 기화기와 관련이 있었다.^{11,12)} 기화기와 관련된 원인 중 대부분은 마취 전 점검 권장 방법에서 검출이 된다.¹⁾ 하지만 드물게 상기 점검 방법에도 검출되지 않는 오류가 보고되어 있다.^{13,14)} 이번 고장도, 많이 사용되는 마취 전 점검 방법에서 추천하는 low pressure system 유출(leak) 점검 방법도 시행해도 알아낼 수 없었다.¹⁾

기화기 마취제 투입구 옆 구멍의 목적은 과도하게 마취

제가 들어갔을 경우나 기화기가 기울어져 있을 때 회로를 보호하기 위해 drain되는 것으로, 문제가 된 구멍이 일방 밸브 기능을 가지고 있다.¹⁵⁾ 즉, 밖에서 안으로 가스가 들어가는 것은 막고 있기에 low pressure system 유출 검사에서 검출되지 않은 것으로 생각된다.

현재 우리나라에서는 학회 차원에서 필수 환자 감시 장치 항목을 설정하지 못하고 있고, 마취 전 장비 점검 기준도 각 병원별로 자체적으로 설정하여 시행하고 있는 실정이다.¹⁶⁾ 또한, 인력과 시간 부족을 이유로 모든 마취에서 점검을 시행하지 않고, 아침 첫 수술만 시행하여 두 번째 이후의 수술에서 마취 중 회로의 이상을 발견하기도 한다.¹⁷⁾ 환자의 안정된 진료를 위하여 환자 각성 등을 방지하기 위해 필수 환자 감시 항목과 마취 전 장비 점검 기준을 정하는 것이 필요하다고 하겠다. 또한, 사용자 지침서에서 권장 하듯이 마취 전 장비 점검에는 정기적인 기화기 점검도 필요하다고 하겠다.¹⁵⁾

결론적으로, 마약성 진통제를 투여하지 않은 상황에서도 활력 징후가 안정된 각성이 발생할 수 있고, 일반화되어 있는 마취기의 low pressure system 유출 점검법으로도 검출되지 않는 기화기 유출이 있을 수 있으므로 마취 가스 농도 측정을 필수적으로 생각하는 등 보다 철저한 환자 감시가 필요하다고 하겠다.

감사의 글

가스 누출과 호기 가스 농도 측정에 도움을 주신 정지연, 송남경 연구원과 메디언스 최종대 선생님, 기화기 관련 자료를 구해 주신 애보트 전신용 선생님께 감사의 뜻을 전한다.

참 고 문 헌

1. Brockwell RC, Andrews JJ: Anesthesia apparatus checkout recommendations. In: Miller's anesthesia. 6th ed. Edited by Miller RD: Philadelphia, Elsevier Churchill Livingstone, Inc. 2005, pp 315-6.
2. Martin JL, Njoku DB: Metabolism and toxicity of modern inhaled anesthetics. In: Miller's anesthesia. 6th ed. Edited by Miller RD: Philadelphia, Elsevier Churchill Livingstone, Inc. 2005, pp 231-72.
3. Mashour GA, Jiang YD, Osterman J: Perioperative treatment of patients with a history of intraoperative awareness and post-traumatic stress disorder. Anesthesiology 2006; 104: 893-4.
4. Sebel PS, Bowdle TA, Ghoneim MM, Rampil II, Padilla RE, Gan TJ, et al: The incidence of awareness during anesthesia: a multicenter United States study. Anesth Analg 2004; 99: 833-9.
5. Davidson AJ, Huang GH, Czarnicki C, Gibson MA, Stewart

- SA, Jansen K, et al: awareness during anesthesia in children: a prospective cohort study. *Anesth Analg* 2005; 100: 653-61.
6. American Society of Anesthesiologists Task Force on Intraoperative Awareness: Practice advisory for intraoperative awareness and brain function monitoring: a report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on intraoperative awareness. *Anesthesiology* 2006; 104: 847-64.
 7. Iselin-Chaves I, Lopez U, Habre W: Intraoperative awareness in children: myth or reality? *Curr Opin Anaesthesiol* 2006; 19: 309-14.
 8. Bae JI, Oh KJ, Jeon JK: Awareness and recall during anesthesia for cesarean section. *Korean J Anesthesiol* 1986; 19: 338-41.
 9. Lee HL, Kim KA, Jung IY, Chang HJ: The incidence of awareness with recall and dreams during general anesthesia. *Korean J Anesthesiol* 1996; 31: 340-6.
 10. Chung JY, Jeon EY, Kim BI, Park CH, Roh WS, Cho SK: BIS and postoperative recall for sevoflurane and enflurane during cesarean section. *Korean J Anesthesiol* 2004; 46: 381-5.
 11. Caplan RA, Vistica MF, Posner KL, Cheney FW: Adverse anesthetic outcomes arising from gas delivery equipment: a closed claims analysis. *Anesthesiology* 1997; 87: 741-8.
 12. Bergman IJ, Kluger MT, Short TG: Awareness during general anaesthesia: a review of 81 cases from the anaesthetic incident monitoring study. *Anaesthesia* 2002; 57: 549-56.
 13. Lewis SE, Andrews JJ, Long GW: An unexpected Penlon Sigma Elite vaporizer leak. *Anesthesiology* 1999; 90: 1221-5.
 14. Kimatian SJ: With technology comes responsibility: Intraoperative failure of an anesthetic vaporizer. *Anesthesiology* 2002; 96: 1533-4.
 15. Penlon: Sigma delta vaporizer user instruction manual. Abingdon, Penlon Limited. 2004, pp 1-60.
 16. Lee JL, Kim J, Ahn W: Korean anesthetic machine checklist. 2006 Feb. Available from <http://vam.anest.ufl.edu/korean-checklist.html>.
 17. Lee SY, Suh SH, Cho JH, Lim JA, Lee KM, Woo NS: An unexpected vapor leakage from unlocked vaporizer (Penlon Sigma Delta Anesthetic Vaporizer): a case report. *Korean J Anesthesiol* 2006; 51: 230-2.