

종합병원 수술실 종사자의 마취가스 노출에 관한 연구

차정영 · 백도명 · 백남원[†]

서울대학교 보건대학원

Employee Exposures to Waste Anesthetic Gases in Hospital Operating Rooms

Jung Young Cha · Do Myung Paek · Nam Won Paik[†]

Graduate School of Public Health, Seoul National University

This study was performed to investigate employee exposures to waste anesthetic gases, such as enflurane and sevoflurane in operating rooms of general surgical, children's and dental clinics of a large hospital located in Seoul and to analyze factors affecting the concentrations of waste anesthetic gases. The results of the study are summarized below.

1. Based on results of personal and area samples for airborne enflurane, all of the employees investigated in this study were exposed to airborne enflurane concentrations below the ACGIH-threshold limit value (TLV) of 75 ppm.

2. However, based on results of personal samples for sevoflurane, employees of two (2) out of eleven (11) operating rooms were exposed to sevoflurane concentrations in excess of the NIOSH recommended exposure limit (REL) of 2 ppm. A similar trend was found in the area samples.

3. To investigate the source of sevoflurane emissions,

airborne sevoflurane concentrations were measured on an anesthesia machine, a drug cabinet and a desk. It was indicated that the geometric means were 0.93 ppm, 0.83 ppm and 0.72 ppm, respectively.

4. Factors affecting waste anesthetic gas concentrations were the age of anesthesia machine, the volume of operating room and the extent of ventilation ($p < 0.05$).

5. It is recommended that the use of anesthesia equipments be properly controlled, the operating room be well ventilated, and the airborne concentrations of anesthetic gases be continuously monitored.

Key Words : Enflurane, Sevoflurane, Waste anesthetic gases, TWA concentration, Scavenging system

I. 서론

병원 수술실에서는 수술하는 동안 환자의 생명에 영향을 주지 않고 통증 없이 수술할 수 있는 가장 좋은 상태를 유지

하기 위해 수술 시작 전에 환자에게 전신마취를 한다. 전신마취제를 투여하는 방법으로 경구 투여, 근육 내 주사, 정맥 내 주사, 직장 내 투여 및 폐를 통한 흡입 등 매우 다양한 방법이 사용되고 있으며, 그 중에서도 흡입마취제는 폐를 통해

접수일 : 2006년 5월 12일, 채택일 : 2006년 8월 8일

[†] 교신저자 : 백남원 (서울특별시 중로구 연건동 28번지 서울대학교 보건대학원

Tel : 02-740-8883, Fax: 02-765-9105, E-mail: nwpaik@snu.ac.kr)

약제를 흡입시킴으로써 마취력을 나타내는 약제로 흡입마취의 과정은 흔히 마취유도 (induction), 마취유지 (maintenance) 및 마취회복 (emergence 혹은 recovery)의 세 단계로 이루어져 있으며 이러한 마취방법은 최근 임상 마취에서 가장 보편화되어 사용되고 있는 방법이다(대한마취과학회, 1998; Andrea et al., 1992).

흡입마취는 오래전부터 여러 제제들이 사용되어 왔으나 diethylether, cyclopropane, fluroxene 등은 폭발성 및 화염성으로, chloroform은 간독성으로, trichloroethylene은 신경독성으로, methoxyflurane은 신독성으로 임상에서는 거의 사용되지 않고 있으며, 최근 전세계적으로 임상에서 흔히 사용되는 마취가스로는 nitrous oxide (N₂O), halothane, enflurane, isoflurane, desflurane, sevoflurane 등이 사용되고 있으며 현재 국내 병원에서는 halothane을 제외한 나머지 마취가스를 사용하고 있다(Tran, et al., 1994; Johnson, et al., 1987).

마취가스는 수술이 진행되는 동안 마취장비나 환자의 마스크, 마취가스 제거 체계(scavenging system)에서 누출될 수 있는데 이러한 가스나 증기를 폐 마취가스(Waste Anesthetic Gases, WAGs)라고 한다(Hobbhahn, et al., 1998).

마취가스가 발생하는 작업장은 기본적으로 병원의 수술실, 회복실, 치과수술실, 그리고 수의학시설 등이다. 마취가스가 마취장비에서 누출되면 수술실에서 근무하는 의사나 간호사들에게 유해한 영향을 미칠 수 있다. 새로 공급되는 가스량이 일반적으로 분당 2 l 이상이므로 이와 비슷한 양이 배기 밸브를 통하여 나오는데 이때에는 혼합된 nitrous oxide와 할로겐화합물이 수술실 공기를 오염시키게 된다. 이로 인하여 수술실 종사자가 공기 중 마취가스에 급성노출 시에는 두통, 자극, 구토, 피로 등의 중추신경계에 영향을 미친다고 알려져 있으며, 특히 수술실에서 장기적으로 근무하는 간호사들에게서 자연유산이나 태아기형, 중앙 등의 발생을 증가는 마취가스의 수술실내 공기오염에 대한 심각성을 인식하게 하였다. 하지만, 현재까지도 저 농도의 마취가스에서 만성적인 노출이 인체에 영향을 미친다고 보고가 된 사례가 없으며, 그 위험성에 대해서도 명확한 정의가 내려져 있지 않다(Byhahn, et al., 2001). 하지만, 마취가스에 대하여 미국산업안전보건연구원 (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서는 세보플루란 (Sevoflurane)을 1시간 시간가중 평균치(REL-TWA)로 2 ppm, 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 엔플루란(Enflurane)에 대한 8시간 시간가중 평균치(TLV-TWA)로 75 ppm의 허용농도를 제시하고 있다(ACGIH, 2003). 또한, 여러 다른 서구의 나라에서도 마취가스에 대한 노출기준이 정부기관을 통하여 법적으로 규정되어 있거나 권고되어져 있다(Krenzischek, et al., 2002;

Johnson, et al., 1987). 이에 반해 현재 우리나라는 병원에서의 마취가스에 대한 어떠한 권고나 법적인 노출기준도 마련되어 있지 않은 상태이다.

따라서, 본 연구의 목적은 종합병원의 수술실을 대상으로 공기 중 마취가스의 농도를 조사하여 수술실 종사자의 노출 실태를 파악하고, 수술실에서의 마취가스 노출을 관리하기 위한 기초자료를 제공하는 데 있다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 서울에 위치한 한 종합병원의 일반외과수술실, 소아과수술실, 치과수술실을 대상으로 하였으며 공기 중 마취가스를 측정하였다. 병원의 일반현황은 표1과 같다.

일반외과수술실과 치과수술실에서 마취가스 사용은 수술 종류에 관계없이 대부분 1~2시간의 짧은 수술에서는 세보플루란을 사용하며, 수술시간이 긴 수술에는 엔플루란을 사용하고 있다. 특히, 소아과의 경우는 수술환자들이 신생아부터 유소년으로 아직 각종 기관이 성인에 비해 성장 발달되지 않은 미숙한 상태여서 수술시간이 짧아 대부분 세보플루란을 많이 사용하고 있었다. 환자에게 사용하는 마스크는 마취를 처음 시작할 때 fitting mask로 마취가스를 주입하고 endotracheal intubation을 환자의 기관에 삽입하여 수술하는 동안 마취를 유지하며 수술이 끝나면 reserve mask를 사용하여 환자가 마취에서 깨어나도록 산소를 공급하면서 폐에 남아 있는 마취가스를 외부로 배출한다. 각각의 수술실 마취장비는 사용하지 1~8년 정도 되었으며, 수술실의 시간당 공기교환 횟수(air changes per hour, ACH)는 25회/hour였다.

2. 연구방법

1) 공기 중 시료의 채취와 분석

시료의 채취와 분석은 엔플루란과 세보플루란에 대해 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서 추천하는 방법으로 진행하였다(OSHA, 1994; OSHA, 2001). 공기 중 시료의 포집은 흡착제 Anasorb 747 tube(149/70mg, SKC, USA)를 사용하여 수행하였다. 개인시료는 마취전공의의 호흡위치에서 채취하였으며 저유량 시료채취펌프(Low flow pump, Gilian, USA)를 사용하여 유량 0.1 Lpm으로 엔플루란 약 440~480분 및 세보플루란 약 50~60분 동안 포집하였다. 또한 수술실 내부의 공기 중 농도를 평가하고 위하여 마취가스장비 위, 약품보관함 위, 책

상 주변에서 지역시료를 포집하였다(그림 1) (Hoerauf, 1996).

시료의 분석을 위하여 엔플루란은 탈착용매로 n-decane 500 μ l와 CS₂ 1ml를 혼합하여 사용하였으며, 세보플루란은 Toluene으로 탈착 하여 가스 크로마토그래피 (Gas chromatography, HP 6890, Hewlett Packard, USA) 불꽃이온화검출기 (Flame ionization detector, FID) 로 분석하였다.

2) 작업환경평가

마취가스의 노출수준에 영향을 미치는 요인으로 다음과 같은 사항들을 조사하였다.

① 수술실의 환기상태

일반외과수술실, 소아과수술실, 치과수술실내의 마취장비 구입년도와 환기 시스템, 마취장비의 scavenging system, air conditioner의 작동여부 등을 조사하였다.

② 마취가스의 농도

마취장비에서 환자에게 공급되는 nitrous oxide (N₂O)와 halogenated agents (Enflurane, Sevofluran)의 농도 비율을 조사하였다.

③ 온도와 습도

IAQ-CALC (8762-M-EU, TSI, USA)를 이용하여 전체 수술시간동안 측정하였다.

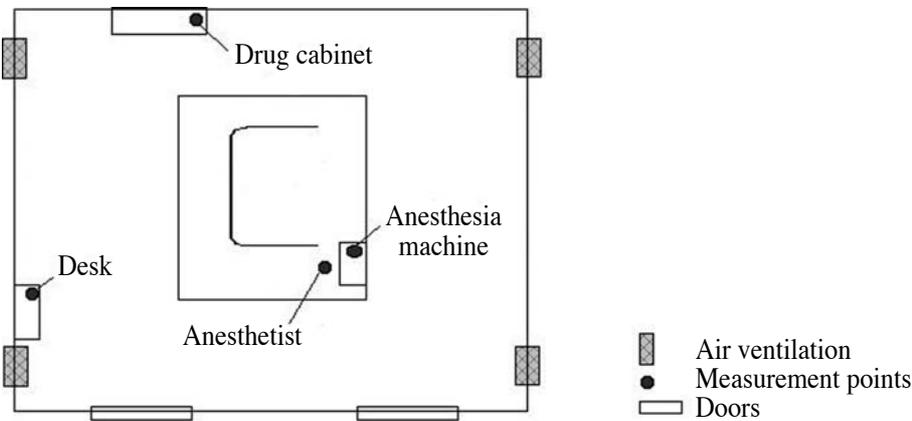


Fig. 1. Ground plan of the operating room and locations of the measurement points.

Table 1. General states of operating rooms by type of clinics

Type of Clinic	Operating Room	No. of Workers	Room Size, (m ³)	Anesthetic Gas Concentration (vol%)	Disturbance at exhaust
General	A	5	174	2	poor
	B	6	116	1.5	poor
	C	7	129	1.5	good
	D	8	153	1.5	good
	E	7	134	2	poor
	F	9	140	1	good
	G	5	136	1	good
	H	7	111	2	poor
Pediatric	A	6	97	2	poor
	B	7	94	1	good
	C	5	100	1.5	poor
	D	7	135	1	good
	E	6	64	2	good
Dental	A	6	157	2	good
	B	5	154	1	poor
	C	4	77	1	good
	D	4	177	2	good

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 마취가스 전달체계

마취가스는 압력과 유량 게이지, 호스, 밸브, 튜브, 마취장비, scavenging system 등의 여러 종류의 조절기에 의해 고압으로 환자의 마스크를 통하여 전달된다. 마취가스 엔플루란이나 세보플루란은 마취장비에서 N₂O와 O₂ (1:1)의 혼합기체와 혼합된다. 호기로부터 나오는 마취가스는 scavenging system을 통하여 제거되며, 이 때 외부로 배출되는 가스의 유량은 마취장비내의 로타미터와 밸브에 의해 조절된다(그림 2. 참조) (Crouch, et al., 2000).

2. 수술실의 공기 중 마취가스 노출 농도분포 및 평가

시료채취방법에 따라 수술실에서 측정된 엔플루란과 세보플루란의 공기 중 농도는 그림 3과 그림 4에서 보는 바와 같이 대수정규분포를 하였다.

수술하는 동안 마취를 담당하는 마취전공의의 호흡위치에서 측정된 엔플루란 TWA농도는 26.95 ppm - 52.87 ppm이었으며, 지역시료의 기하평균농도는 일반외과수술실이 33.55 ppm, 치과수술실이 46.24 ppm 이었고, 범위는 14.43 ppm -

70.55 ppm으로 미국산업위생전문가협회 (ACGIH)의 허용기준인 75 ppm을 초과한 수술실은 없었다(표 2). 수술이 끝나면 다음 수술을 준비하기 위해 수술실의 출입문을 열어 두며, 수술 중에도 수술실의 출입문이 열려져 있는 경우가 있어 수술동안 누출된 공기 중 마취가스가 다른 수술실로 이동이 자유로워 마취가스 농도에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

세보플루란에 대해 고농도 노출이 예상되는 11개의 수술실을 대상으로 단시간 (60분) 동안 측정한 개인시료와 지역시료 농도는 표3과 같다.

개인시료의 경우 0.47 ppm - 8.57 ppm의 범위를 보였고 일반수술실 E, H와 소아과 수술실 C에서 NIOSH의 권고기준 2 ppm을 초과하여 각각 3.57 ppm, 2.27 ppm, 및 8.57 ppm을 나타냈다. 지역시료의 경우 기하평균이 일반외과수술실 0.87 ppm, 소아과수술실 1.48 ppm, 치과수술실 0.69 ppm 으로 개인시료의 평균농도보다 낮았으며 전체적으로 0.27 ppm - 4.05 ppm의 범위를 보였다. 개인시료에서 보이는 결과와 같이 일반외과수술실 E와H, 소아과수술실 C에서 NIOSH의 권고기준보다 높게 나타났다. 치과 수술실 D는 검출한계미만으로 나타났다.

그림 5는 수술이 진행되는 동안 세보플루란의 공기 중 농도를 평가하기 위해 지역시료를 채취하여 측정한 값으로 마취장비 위, 약품보관함 위, 책상 주변의 기하평균농도는 각각 0.93 ppm, 0.83 ppm, 0.72 ppm이었다. 그림에서 보는바와 같이 마취가스를 주입하는 장비에서 다른 지역보다 대체로 높은

Table 2. Airborne enflurane concentrations in operating rooms by type of clinic and sampling

Type of Clinic	Operating Room	Concentration by Type of Sampling, ppm	
		Personal Sample	Area* Sample
General	A	31.78	31.07 (14.43-55.47)
	B	26.95	37.15 (22.94-51.44)
	C	37.73	30.68 (25.93-33.95)
	D	39.19	21.96 (16.52-39.19)
	GM	33.55	29.70
Dental	B	40.44	27.12 (22.17-33.73)
	C	52.87	54.61 (41.53-70.55)
	GM	46.24	38.48

*n=3 at each of operating rooms

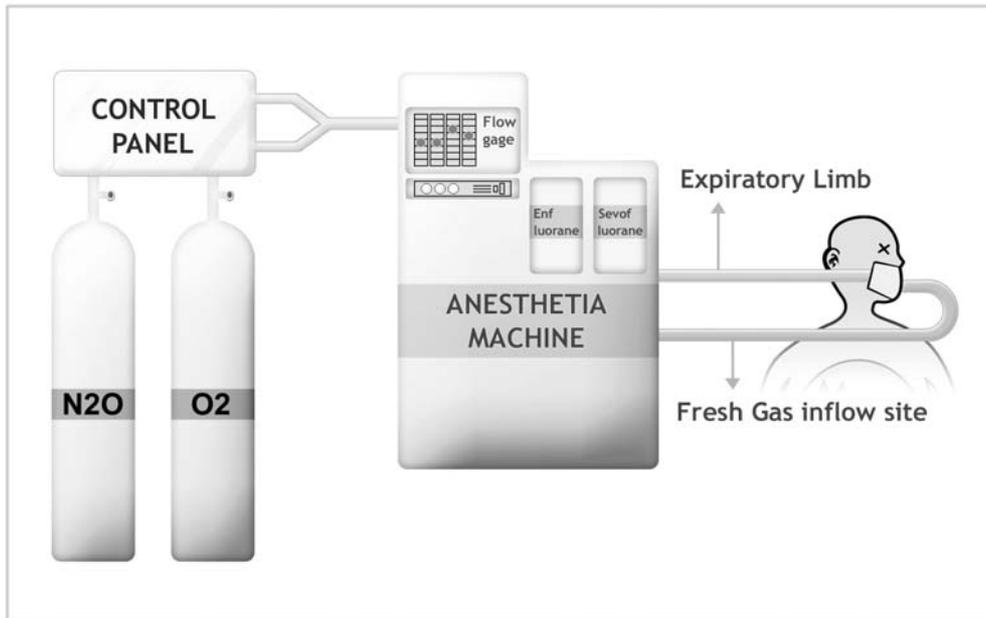


Fig. 2. Diagram of anesthetic gases delivery and scavenging systems.

Table 3. Airborne sevoflurane concentrations by type of clinic and sampling

Type of Clinic	Operating Room	Concentration by Type of Sampling, ppm	
		Personal Sample	Area Sample
General	E	3.57	1.51 (0.77-2.91)
	F	0.89	0.63 (0.43-0.85)
	G	0.47	0.53 (0.30-0.88)
	H	2.27	1.61 (1.22-2.00)
	GM	1.36	0.87
Pediatric	A	1.76	0.64 (0.48-0.95)
	B	0.67	0.65 (0.55-0.70)
	C	8.57	3.48 (2.89-4.05)
	D	0.80	0.52 (0.27-0.66)
	E	0.88	0.76 (0.71-0.87)
	GM	1.48	0.88
Dental	A	0.69	0.63 (0.43-0.81)
	D	<0.05	<0.05
	GM	0.69	0.61

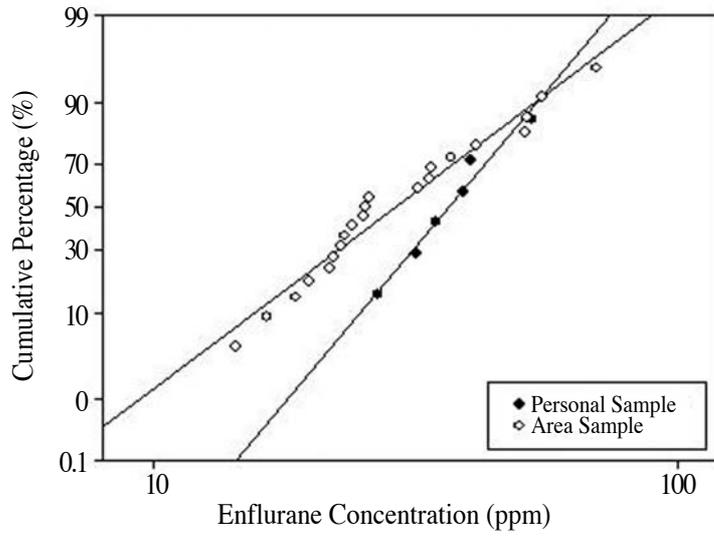


Fig. 3. Cumulative distribution of airborne enflurane concentrations by type of sampling.

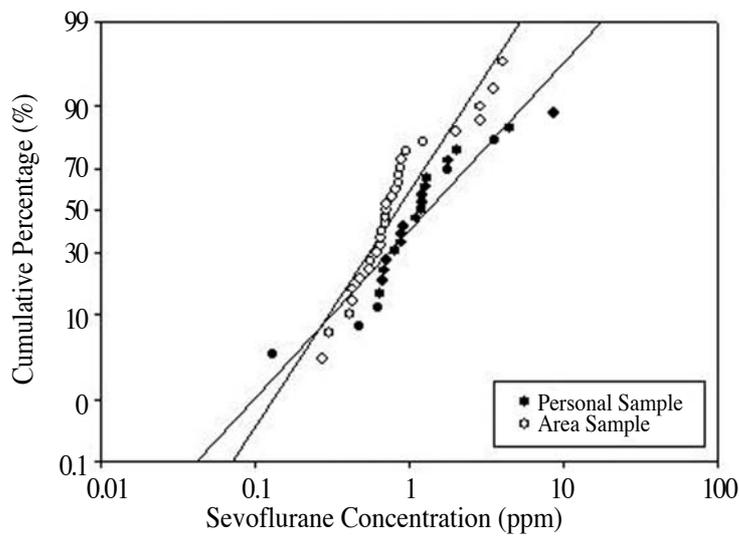


Fig. 4. Cumulative distribution of airborne sevoflurane concentrations by type of sampling.

Table 4. Airborne sevoflurane concentrations and factors affecting the concentrations

	General				Pediatric				Dental	p-value	
	E	F	G	H	A	B	C	D	E		A
Result of Personal Sample (ppm)	3.57	0.89	0.47	2.27	1.76	0.67	8.57	0.80	0.88	0.69	
Result of Area Sample (ppm)	1.51	0.63	0.53	1.61	0.64	0.65	3.48	0.52	0.76	0.63	
Age of Anesthesia Machine (year)	6	2	3	6	3	1	8	4	4	2	0.043
Volume of Room (m ³)	134	140	136	111	97	94	100	135	64	157	0.045
Disturbance at exhaust	poor	good	good	poor	poor	good	poor	good	good	good	0.003

농도를 보였다.

3. 마취가스 노출 농도에 영향을 미치는 요인

마취가스의 노출을 효율적으로 제어하기 위해서는 수술실에서의 공기 중 마취가스 농도에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 것이 중요하다. NIOSH에서는 수술실의 마취가스 농도에 영향을 미치는 요인으로 마취장비의 사용연한, 마취장비의 연결부위에 의한 누출, 마취가 진행되는 동안의 절개된 환자의 몸으로부터 누출, 환기상태, scavenging system, 부적절한 환자의 흡입마스크, 수술이 끝나고 회복실에서의 환자의 호흡으로 인한 누출 등이 공기 중 마취가스 노출에 영향을 주는 인자로 알려져 있다.

이번 조사에서는 환자의 생명을 다루는 수술실의 특성과 병원에서 허락된 조사기간, 수술실에 머무를 수 있는 시간이 제한되어 있어 마취가스 노출에 영향을 주는 요인을 모두 조사할 수 없었다. 그래서 주어진 시간에 최대한 많은 조사를 하기 위해 마취장비의 사용연한, 수술실의 체적, 환기상태, 마취가스 주입농도를 선정하여 각각의 요인에 대하여 조사하였으며, 그 결과를 일원분산분석으로 통계분석을 하였다.

분석결과 엔플루란에 대해서는 개인시료와 지역시료 모두 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). 따라서 세보플루란에 대해서만 각 요인들과의 상관관계를 알아보았으며, 표 4는 각 요인에 따른 환경조건과 p-value이다.

1) 마취장비 사용연한

마취장비의 노후는 수술실내의 마취가스 오염의 주된 원인이라고 할 수 있다(NIOSH, 1998). 병원의 마취장비 사용기

간은 1년 - 8년이었으며, 분산분석은 마취장비 사용연한에 따라 개인시료와 지역시료에 대하여 마취장비의 사용기간을 4년 이하와 그 이상으로 분류하여 실시하였다.

이에 따른 세보플루란의 개인시료와 지역시료의 p-value의 값이 각각 0.282, 0.043으로 나타나 지역시료에서만 4년 이상 된 마취장비를 사용하는 수술실의 세보플루란 농도가 4년 미만의 마취장비를 사용하는 수술실농도보다 높게 나타났다($p < 0.05$). 개인시료에서는 수술실의 평균값에 차이가 있었으나 분산이 크게 나타나 유의한 결과를 보이지 않았다(그림 6).

2) 수술실의 체적

수술실의 체적은 64 m³ - 177 m³였으며, 분산분석은 110 m³ 이하와 그 이상의 체적을 가진 수술실로 분류하여 실시하였다. 수술실의 크기에 따른 TWA 농도 차이는 지역시료에서만 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$).

수술실은 항상 일정한 온도를 유지하고 있었으며 수술 전 후에 대부분의 수술실 출입문을 열어 놓고 있어 전체 환기량을 크게 증가시켰을 것으로 생각되며 공기 중 마취가스 농도에도 영향을 미쳤을 것으로 보인다(그림 7).

3) 흡·배기구의 배기상태

수술실의 환기는 일반외과수술실, 소아과수술실, 치과수술실 모두 중앙공급실에서 관리하고 있었으며 환기시설은 천장에 흡기구 2개, 벽면에 배기구 2개로 되어있었다. 대부분의 수술실에서는 배기구 주변에 배기를 방해하는 물건이 없었지만, 일부 수술실에서는 배기구가 책상이나 약품보관함에 막혀져 있어 배기를 하는데 방해가 될 것으로 보였다. 이

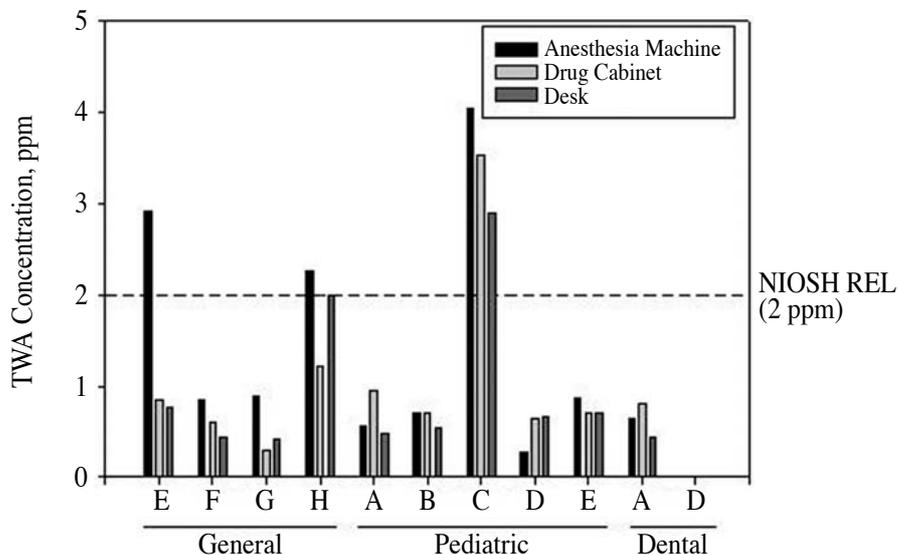


Fig. 5. Airborne sevoflurane concentrations in operating room by sampling location and clinic.

에 따른 배기구의 배기상태에 따른 세보플루란의 TWA농도 차이는 지역시료의 경우에만 유의한 것으로 나타났다 ($p < 0.05$).

4) 마취가스 주입농도

환자에게 주입되는 마취가스는 N₂O와 O₂ (1:1)의 혼합가스에 마취가스 (halogenated agents)를 혼합한 것으로서 마취 시작부터 수술이 끝날 때까지 환자에게 주입된다. 마취가스 주입농도는 수술의 종류와 환자의 상태에 따라 1 - 2.5 vol%이다. 환자에게 주입되는 마취가스 주입농도가 공기 중 마취가스 농도에 영향을 미치는지 알아보기 위해 마취가스 주입농도를 1.5 vol%이하와 그 이상의 경우로 나누어 일반외과수

술실과 소아과수술실을 대상으로 GLM (general linear regression model)을 사용하여 다변량 분산분석을 한 결과 p-value 가 각각 0.028, 0.266을 나타내어 일반외과수술실에서만 마취가스 주입농도가 높을수록 공기 중 마취가스 농도가 높은 것으로 나타났다 ($p < 0.05$).

IV. 결론

이 연구에서는 서울지역에 위치한 모 종합병원의 일반외과수술실, 소아과수술실 및 치과수술실을 대상으로 공기 중 마취가스의 노출을 조사하였다. 엔플루란의 시간 가중 평균

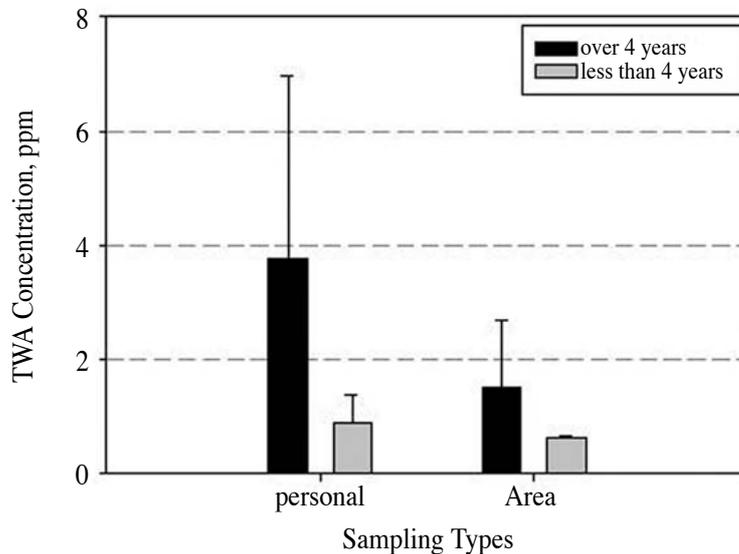


Fig. 6. Airborne sevoflurane concentrations by type of sampling and age of anesthesia machine.

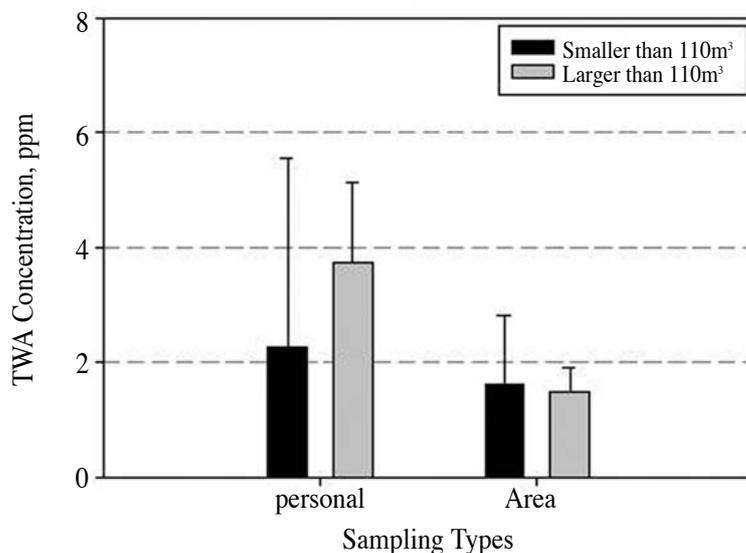


Fig. 7. Airborne sevoflurane concentrations by size of operating room and type of sampling.

치(8 Hour Time Weighted Average, TWA)와 세보플루란의 시간 가중 평균치(1 Hour Time Weighted Average, TWA)를 알아 보고 공기 중 마취가스 농도에 영향을 미치는 요인들을 조사, 분석하였다.

1. 수술실의 공기 중 엔플루란과 세보플루란 농도는 대수 정규분포를 하였다. 공기 중 엔플루란의 농도는 개인시료와 지역시료에서 모두 ACGIH 허용기준인 75 ppm미만이었다.

2. 마취전공의를 대상으로 개인시료를 채취하여 측정 한 공기 중 세보플루란 농도는 1시간 시간 가중 평균치가 0.47 ppm - 8.57 ppm이었고 NIOSH의 허용기준 2 ppm을 초과하는 수술실이 3곳으로 나타났다. 지역시료의 경우 전체평균농도가 0.84 ppm으로 나타났으며 범위는 0.27 ppm - 4.05 ppm 이었고, 개인시료가 NIOSH의 권고기준을 초과하는 3곳의 수술실에서 지역시료의 결과도 기준을 초과하였다.

3. 수술실의 공기 중 마취가스 농도를 알아보기 위해 마취 장비 위와 약품보관함 위 및 책상 주변에서 측정 한 세보플루란의 기하평균치는 각각 0.93 ppm, 0.83 ppm 및 0.72 ppm으로 모두 NIOSH의 권고기준 2 ppm을 초과하지 않았으나 '마취 장비 위'의 경우 수술실 2곳 그리고, '약품보관함 위'와 '책상 주변'에서 각각 한개 수술실씩 NIOSH의 권고기준을 초과하였다.

4. 수술이 진행되는 동안 공기 중 마취가스 노출에 영향을 미치는 요인으로는 마취장비 사용기간, 수술실의 체적, 환기 상태 등으로 나타났다 ($p < 0.05$).

5. 수술실에 종사하는 의사와 간호사의 마취가스 노출을 줄이기 위해서는 가능하면 마취장비를 철저히 관리하고, 환자의 얼굴에 적합한 마스크를 사용하며, 수술실의 공기교환 횟수가 적어도 15회/hour 이상으로 이루어져야 할 것이다 (NIOSH, 1998). 또한 마취전공의가 환자에게 마취가스를 주입하여 마취가 진행되는 동안 이루어지는 전 과정에 있어 세심한 주의가 필요 할 것으로 보이며, 수술실 종사자들이 공기 중 마취가스에 대한 관심이 더 높아져야 할 것으로 생각 된다. 동시에 장기적이고 반복적인 측정을 통하여 수술실의 공기 중 마취가스농도 자료를 확보하여 수술실 종사자들에게 공기 중 마취가스의 유해성을 고취시키며 마취가스를 사용하는 시설에서의 공기 중 마취가스농도에 관한 의학적인 모니터링이 지속적으로 이루어 져야할 것으로 보인다.

REFERENCES

대한마취과학회 교과서편집위원회. 마취과학.이문각; 1998. (35-142쪽.)

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2002 TLVs and BEIs Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 2003.

Andrea M. Sass-Kortsak, Purdham JT, Bozek PR, Murphy JH : Exposure of hospital operating room personnel potentially harmful environmental agents. Am Ind Hyg Assoc J 1992;53:203-209.

Byhahn C, Heller K, Lischke V, Westphal K. Surgeon's occupational exposure to nitrous oxide and sevoflurane during pediatric surgery. World J Surg 2001;25: 1109-1112.

Crouch KG, McGlothlin JD, Johnston OE [1999]. A Long-Term study of the development of N2O controls at a pediatric dental facility. Am Ind Hyg Assoc J 2000;61:753-756.

Hobbahn J, Hoerauf K, Wiesner G, Schroegendorfer K, Taeger K. Waste Gas Exposure during Desflurane and Isoflurane anaesthesia. Acta-Anaesthesiol-Scand. 1998; 42: 864-867.

Hoerauf K, Koller C, Jakob W, Taeger K, Hobbahn J. Isoflurane waste gas exposure during general anaesthesia: the laryngeal mask compared with tracheal intubation. British Journal of Anaesth 1996;77:189-193.

Johnson JA, Buchan RM, Reif JS. Effect of waste anesthetic gas and vapor exposure on reproductive outcome in veterinary personnel. Am Ind Hyg Assoc J 1987;48:62-66.

Krenzischek, DA, Schaefer J, Nolan M, Bukowski J, Twilley M, Bernacki E, Dorman T (2002). Phase I Collaborative Pilot Study: Waste Anesthetic Gas Levels in the PACU. J PeriAnesth Nurs 2002; 17:227-239.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Health Care Workers Guidelines. NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1998.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Sampling and Analytical Method 103, OSHA, Cincinnati, Ohio, 1994.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Anesthetic gases guidelines for workplace exposures. 1999 July[Revised 2000 May] Available from: URL:http://www.osha.gov/dts/osta/anesthet_igases/index.html

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Chemical Sampling Information Sevoflurane, OSHA, Cincinnati, Ohio, 2001.

Tran N, Elias J, Rosenberg T, Wylie D, Gaborieau D, Yassi A. Evaluation of waste anesthetic gases, monitoring strategies, and correlations between nitrous oxide levels and health symptoms. Am Ind Hyg Assoc J 1994;55(1):36-41