

한국 마취과 의사들의 신선가스 사용 실제와 그 인식도

계명대학교 의과대학 마취통증의학교실

장 영 호 · 김 준 우

Practical Choice and Knowledge of Korean Anesthesiologists for Fresh Gas Flow

Young Ho Jang, M.D., and Jun Woo Kim, M.D.

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, School of Medicine, Keimyung University, Daegu, Korea

Background: The inhalational anesthesia is performed by the administration of inhalational agents and fresh gases. Low and high flows have their own advantages and disadvantages. In Korea, many anesthesiologists use more than 2 L/min of fresh gas flow (FGF). This study was performed to analyze the practice and knowledge of FGF use by Korean Anesthesiologists.

Methods: A questionnaire was sent to 122 anesthesiologists (15 university hospitals and 16 general hospitals) who attended the 47th Annual Autumn Meeting of the Korean Society of Anesthesiology in 2002. The questionnaire covered topics dealing with inhalational agents, FGF, and safety systems for inhalational anesthesia practice.

Results: The most preferred inhalational anesthetic was sevoflurane (65.6%). 88.5% of respondents used more than 2 L/min of FGF. The majority of the respondents, however, did not consider the reasons for using certain levels of FGF. Only 27% of hospitals had pulse oximetry, capnogram or multi-gas analysis, fail-safe device, and a scavenging system.

Conclusions: Many anesthesiologists, especially trainees, failed to consider the use of FGF during inhalational anesthesia. Therefore, special consideration should be given to the training and education of trainees about the proper of FGF. (**Korean J Anesthesiol 2004; 46: 78~82**)

Key Words: anesthetic techniques, fresh gas flow, volatile anesthetics.

서 론

흡입마취는 기화기를 통하여 공급되는 흡입마취제와 유량계를 통하여 공급되는 신선가스를 폐로 공급함으로써 이루어진다. 이때 이용되는 신선가스 사용량은 자발호흡 혹은 조절호흡 등과 같은 환자의 호흡 상태, 마취회로의 종류, 마취과 의사의 습관 등에 따라 달라지게 된다.¹⁾ 현재 국내에서 흡입마취 시 일반적으로 많이 이용되는 신선가스 유량은 분당 2-4 L 정도의 고유량 신선가스를 이용하는 경우가 대부분이다. 그러나 많은 연구들에 의하면 순환 시스템에서 신선가스 유량을 증가시킬수록 흡입마취제의 소모량이 증가됨이 밝혀져 있다.²⁻⁴⁾ 한편 순환 시스템을 이용한 저유량 마취는 고유량 마취에 비하여 저산소증 및 재호흡

의 위험성이 있기는 하지만 마취제의 소모량을 줄이고, 수술실 내 공기 오염을 감소시킬 수 있으며, 환자 기도의 가온 및 가습이 가능한 장점들이 있다.⁵⁻⁷⁾ 최근에는 sevoflurane 및 desflurane의 사용에 따른 의료비 증가로 인하여 신선가스 유량을 감소시키는 저유량 마취를 시행함으로써 흡입마취제 사용량을 감소시키고자 하는 노력들이 많이 진행되고 있다.^{2-5,8)} 따라서 본 연구에서는 설문조사를 통하여 국내 마취과 의사들이 흔히 사용하는 신선가스 유량을 조사함과 동시에 신선가스 사용량에 대하여 국내 마취과 의사들이 어느 정도 이해를 하고 사용하는지에 관하여 알아보하고자 하였다.

대상 및 방법

한국 마취과 의사의 신선가스 사용에 대한 분석을 위하여 2002년 추계 대한마취과학회(2002년 11월 1일-11월 2일, 서울 잠실 롯데 호텔)에 참석한 정회원 및 준회원들을 대상으로 흡입마취제 및 신선가스 사용에 대하여 설문 조사를 시행하였다. 설문 내용은 다음과 같다.

1. 응답자의 마취경험 정도는?

논문접수일 : 2003년 3월 31일

책임저자 : 장영호, 대구광역시 중구 동산동 194번지

동산의료원, 우편번호: 700-712

Tel: 053-250-7287, Fax: 053-250-7240

E-mail: weonjo@dsmc.or.kr

2. 가장 많이 사용하는 흡입마취제와 선호하는 흡입마취제 및 그 이유는?
3. 마취시 사용하는 신선가스 사용량 및 그 이유는?
4. 신선가스 유량 중 산소와 아산화질소의 사용 비율 및 그 이유는?
5. 흡입마취시 사용하고 있는 감시장치, 마취가스 제거 체계는?
6. 흡입마취제, 산소 및 아산화질소의 비용을 알고 있는지의 이상의 설문 내용이 포함된 설문지를 미리 작성하여 학회에 참석한 마취과 의사들을 무작위 대상으로 하여 응답케 하였으며 응답한 설문지를 이후 분석하였다.

결 과

총 122명의 마취과 의사들이 설문에 응답하였으며, 이중 전문의가 26명, 전공의가 96명(1년차 28명, 2년차 28명, 3년차 28명, 4년차 12명)이었다. 응답자들의 근무지는 16개의 대학병원과 15개의 종합병원으로 총 31개 병원이었다(Table

Table 1. Demographic Data and Service Area of Respondents

Respondents	Number of respondents (n = 122)
Trainees	
1st yr	28
2nd yr	28
3rd yr	28
4th yr	12
Specialists	26
Service area	Number of hospitals
University hospitals	16
General hospitals	15

Table 2. Inhalational Anesthetic Use by the Korean Anesthesiologists: Most Commonly Used in Hospital and Most Preference by Anesthesiologists

Inhalational anesthetics	Most commonly used in hospital (%)	Most preference by anesthesiologists
Halothane	0 (0)	0 (0)
Enflurane	75 (61.5)	13 (10.7)
Isoflurane	37 (30.3)	22 (18.0)
Sevoflurane	10 (8.2)	80 (65.6)
Desflurane	0 (0)	7 (5.7)

1). 응답자들의 소속 병원에서 가장 많이 사용되는 흡입마취제는 enflurane (61.5%), isoflurane (30.3%) 및 sevoflurane (8.2%) 순이었으며, 개인별로 가장 선호하는 흡입마취제는 sevoflurane (65.6%), isoflurane (18.0%), enflurane (10.7%) 및 desflurane (5.7%) 순이었다(Table 2). Sevoflurane을 가장 선호하는 이유로는 70.0% (56명)가 sevoflurane의 빠른 마취유도와 회복, 17.5%(14명)는 혈액학적 안정성, 나머지 12.5% (10명)는 마취유도 시 기도자극이 적기 때문이라고 응답하였다. Isoflurane을 가장 선호하는 응답자들 모두는 혈액학적 안정성 때문이라고 응답하였다. Enflurane을 가장 선호하는 응답자들 중 46.2% (6명)는 의료보험 규정, 38.5% (5명)는 과거부터 많이 사용되어 왔으므로 익숙해져 있기 때문, 나머지 15.4% (2명)는 가격이 싸기 때문이라고 응답하였다.

Table 3. The Reasons of Preference for each Inhalational Anesthetics (n = 122)

Inhalational anesthetics	Preference reasons	Number of respondents (%)
Sevoflurane (n = 80)	Rapid induction and rapid recovery	56 (70.0)
	Hemodynamic stability	14 (17.5)
	Less airway irritability	10 (12.5)
Isoflurane (n = 22)	Hemodynamic stability	22 (100)
Enflurane (n = 13)	Health insurance	6 (46.2)
	Commonly use	5 (38.4)
	Inexpensiveness	2 (15.4)
Desflurane (n = 7)	Rapid recovery	7 (100)

Table 4. Commonly Used Fresh Gas Flow by the Korean Anesthesiologists during the Inhalational Anesthesia (n = 122)

Amount of FGF (L/min)	Number of respondents (%)	Ratio of FGF (O ₂ : N ₂ O)	Number (%)
≤ 1	1 (0.8)	0.6 : 0.4	1 (100.0)
< 1-2	13 (10.6)	1.0 : 0.5	7 (53.8)
		1.0 : 1.0	6 (46.2)
		1.0 : 2.0	4 (16.0)
< 2-3	25 (20.5)	1.5 : 1.5	9 (36.0)
		2.0 : 1.0	12 (48.0)
		1.0 : 3.0	3 (4.1)
		2.0 : 2.0	65 (89.0)
		2.5 : 1.5	1 (1.4)
< 3-4	73 (59.8)	3.0 : 1.0	4 (5.5)
		3.0 : 2.0	10 (100.0)
		4 ≤	10 (8.2)

FGF; fresh gas flow.

Table 5. Reasons of Amounts of Using Fresh Gas Flow and Ratio

Reasons	Number of respondents (%)
Learned from experience of staffs	43 (35.2)
Patient's safety	40 (32.8)
Textbook or reference	17 (13.9)
Cost consideration	13 (10.7)
Lack of concern	9 (7.3)

Table 6. Monitors and Safety Equipments Preparation for Anesthesia in Operating Room (16 University Hospitals and 15 General Hospitals)

Monitors	Percent (%)
Pulse oximetry	77.0
End-tidal CO ₂ or multi-gas analysis	72.1
Fail-safe device	73.8
Scavenging system	76.2

Twenty seven percent of the respondents answered that their hospitals have all above monitors and equipments in each operating room. Some others doesn't have all.

Desflurane을 가장 선호하는 응답자들 모두는 빠른 회복으로 인하여 선호한다고 응답하였다(Table 3).

흡입마취 시 주로 사용하는 신선가스 유량은 3 L/min 초과-4 L/min 이하가 59.8% (73명)로 가장 많았으며, 그 다음으로는 2 L/min 초과-3 L/min 이하가 20.5% (25명), 1 L/min 초과-2 L/min 이하가 10.7% (13명), 4 L/min 이상이 8.2% (10명), 그리고 1 L/min 이하가 0.8% (1명)이었다. 신선가스 유량에서 분당 사용하는 O₂ : N₂O의 유량 비율은 2 L : 2 L가 53.3% (65명), 2 L : 1 L가 9.8% (12명), 3 L : 2 L가 8.2% (10명)의 순이었다(Table 4). 신선가스 유량을 왜 그렇게 사용하느냐는 질문에 응답자의 35.2% (43명)는 수련기간 동안 전문의들이 하는 것을 보고 따라하게 되었다고 하였으며, 32.8% (40명)는 환자에게 안전할 것 같아서, 13.9% (17명)는 참고서적 등을 보고, 10.7% (13명)는 가격을 고려해서라고 응답하였다. 나머지 6.6% (8명)는 뚜렷한 이유 없이 습관적으로 사용한다고 하였다(Table 5).

흡입마취 시 감시장치로 맥박산소계측기를 사용하는 경우는 77%, 호기말 이산화탄소분석기 혹은 다중가스분석기를 사용하는 경우는 72.1%, fail-safe device가 모든 마취기에 있는 경우는 73.8%이었다. 마취가스 제거 체계가 모든 방에 설치되어 있는 경우는 76.2%이었으며, 모든 수술방에서 효과적으로 작동되고 있는 경우는 62.1%로 나타났다. 그러나 맥박산소계측기, 호기말이산화탄소분석기 혹은 다중가스분

Table 7. Awareness of Price about the Inhalational Anesthetics, Oxygen, and Nitrous oxide (n = 118)

	Number of respondents(%)
Definitely	6 (5.1)
Roughly	34 (28.8)
Never	78 (66.1)

석기, fail-safe device 및 마취가스 제거 체계가 모든 경우에서 정상적으로 사용 및 운영되고 있는 경우는 전체 응답자의 27%에 불과하였다(Table 6). 한편 흡입마취제, O₂ 및 N₂O의 비용에 대하여 마취과 의사가 알고 있는지에 관한 질문에는 4.9% (6명)만이 확실히 알고 있다고 응답하였으며, 27.9%(34명)는 어느 정도 알고 있다고 응답하였고, 나머지 63.9% (78명)는 이들의 비용에 대해서는 전혀 모른다고 응답하였다(Table 7).

고찰

흡입마취를 위하여 흡입마취제와 함께 산소, 아산화질소 등과 같은 신선가스를 사용하게 된다. Baker는⁶⁾ 신선가스 유량을 250-500 mL/min 사용한 경우를 최소유량(minimal flow), 500-1,000 mL/min를 사용한 경우를 저유량(low flow), 1-2 L/min를 사용한 경우를 중등도 유량(medium flow), 그리고 2-4 L/min를 사용한 경우를 고유량(high flow)으로 정의하였다. 1952년 Foldes 등이⁹⁾ 1 L/min 이하의 신선가스 유량을 사용하는 저유량 마취를 소개한 이후로 흡입마취 시 신선가스 유량을 감소시키려는 노력들이 많이 시도되어 왔으며, 1974년 Virtue는¹⁰⁾ 0.5 L/min 이하의 신선가스를 사용하는 최소유량 마취(minimal-flow anesthesia)를 보고하기도 하였다. 저유량 마취는 보고자에 따라 다양하게 정의되는데 일반적으로는 흡입마취 시 1 L/min 이하의 신선가스를 이용하는 경우를 말한다. Baum은¹¹⁾ 흡입마취 시 500 mL/min의 신선가스를 사용하는 경우를 최소유량 마취, 1 L/min를 사용하는 경우를 저유량 마취로 정의하였으며, Gregorini는¹²⁾ 2 L/min 이하의 신선가스를 사용하는 경우를 저유량 마취로 정의하였다. 한편 Meakin은¹³⁾ 환자의 폐포환기량 이하의 신선가스 유량을 사용하는 것을 저유량 마취로 정의하였다. 그러나 대부분의 국내 마취과 의사들은 2-4 L/min 정도의 신선가스 유량을 흡입마취시 사용하고 있다. 하지만 상당수의 마취과 의사들이 왜 이러한 신선가스 유량을 사용하고 있는가에 대해서는 많은 관심을 가지고 있지 않다. 국외의 경우를 보면 미국의 128개 병원에서 근무하는 6,400명의 마취과 인원들을 대상으로 조사한 결과 평균 사용하는 신선

가스 유량은 약 3.7 L/min이었으며,¹⁴⁾ 영국과 독일의 경우 약 80%의 마취과 의사들이 4-6 L/min 정도의 고유량 신선가스를 사용한다고 하였다.¹⁵⁾ 본 연구에서 한국 마취과 의사들을 대상으로 조사한 결과 전체 응답자의 86.1%가 2 L/min 이상의 신선가스를 사용하였으며, 65.5%는 3 L/min 이상, 8.2%는 4 L/min 이상의 신선가스를 사용한다고 하여, 평균 3.6 L/min의 신선가스를 사용하고 있는 것으로 나타났다. 이는 미국에서 사용되는 신선가스 유량과 거의 일치하였다.

이처럼 고유량의 신선가스를 흡입마취 시 사용하는 이유로는 수련기간 동안 전문의들이 하는 것을 보고 따라하게 된 경우가 가장 많았으며(35.2%), 32.8%는 환자에게 안전할 것 같아서, 6.6%는 뚜렷한 이유 없이 습관적으로 사용한다고 하였다. 그러나 환자에게 안전할 것 같아서라고 응답한 전공의들 대부분은 왜 고유량 마취가 저유량 마취에 비하여 안전하다고 생각하는가에 대한 명확한 이론적 배경을 갖고 있지는 못하였다. 이러한 결과로 보아 현재 국내 마취과 의사들의 상당수가 신선가스 유량에 대해서 큰 관심을 가지지 않고 있음을 알 수 있었다. 또한 수련기간 동안 전문의들이 하는 것을 보고 막연히 따라하게 된 경우가 35.2%로 나타난 것은 기존 전문의들 역시 마취 중 신선가스에 대하여 관심이 적거나 혹은 그 이론에 대하여 전공의들에게 명확한 교육을 시행하지 못하고 있다는 것을 간접적으로 나타내는 것이라고 생각된다.

설문에서 나타난 바와 같이 아직까지 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 흡입마취제는 enflurane (61.5%)이다. 이는 국내 현실에서의 보험적인 측면이 주원인이 되며, 이외에도 이미 사용에 익숙해져 있거나 가격이 싸기 때문 또한 원인이 된다. 그러나 국내 마취과 의사들에 있어서 실제 많이 사용하고 있는 흡입마취제와 개인적으로 선호하는 흡입마취제는 상이하였다. 응답자의 10.7%만이 enflurane을 선호하였으며, 65.6%는 sevoflurane을 선호하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 이처럼 enflurane에 비하여 상대적으로 고가인 흡입마취제를 선호함에도 불구하고 흡입마취제와 신선가스의 비용에 관하여 정확히 알고 있는 경우는 응답자의 5.1%에 불과하였다. 최근 의료비용에 대한 관심, 병원 경영에 대한 관심이 점차 증가되고 있는 현실점에서 약물 사용시 경제적인 측면 또한 주요 관심사로 대두되고 있다. 따라서 비교적 고가인 sevoflurane과 같은 흡입마취제를 사용할 경우 경제적인 측면 또한 마취과 의사가 고려하여야 할 사항이며, 의료비용 절감에 대한 마취 방법의 고려도 마취과 의사가 앞으로 관심을 가져야 할 사항 중의 하나일 것이다.

흡입마취 시 고유량 마취나 저유량 마취 모두 각각 다양한 장단점들을 가지고 있다. 예를 들어 순환 시스템을 이용한 흡입마취 시 신선가스 유량을 감소시킴으로써 흡입마취

제의 소모량을 줄여^{16,17)} 수술실내 마취제 오염의 감소,¹⁸⁾ 기도의 가슴 및 열손실 감소,¹⁹⁾ 그리고 흡입마취제의 소모량 및 비용을 감소시킬 수 있는 장점이 있다.^{20,21)} 한 연구에 의하면 신선가스 유량을 4.5 L/min에서 1 L/min로 감소시키면 영국과 독일에서 연간 약 46,000 L의 enflurane과 33,000 L의 isoflurane을 절약할 수 있으며 산소 및 아산화질소의 비용을 포함하면 연간 약 65,000,000달러의 경비를 줄일 수 있다고 한다.¹⁵⁾ 그러나 이러한 신선가스 유량을 감소시키려는 많은 노력에도 불구하고 신선가스 유량을 2 L/min 이상의 고유량으로 사용하는 이유는 저유량 신선가스 사용시 발생 가능한 저산소증 및 고탄산혈증, 흡입마취제 농도 예측의 부정확성 등이 주요 원인이 되었다.¹³⁾ 또한 저유량 마취가 최초로 도입된 시기에는 마취장비, 환자감시장치 및 흡입마취제가 저유량 마취에 적절한 수준이 되지 못하였으므로 많은 마취과 의사들은 환자의 안전을 고려하여 고유량 마취를 시행하였으며, 근래에 수련 받는 전공의들뿐만 아니라 전문의들 역시 기존 전문의들의 영향에 따라 습관적으로 고유량 마취를 시행하는 경향이 있다.

한편 신선가스 유량을 감소시켜 흡입마취를 시행할 경우가 가장 중요하고 위험한 문제점은 저산소증과 재호흡으로 인한 혈중 이산화탄소 증가의 가능성, 그리고 마취제 농도의 부정확성 등이다. 마취된 환자의 산소소모량은 산소 섭취의 증가 및 감소에 따라 어느 정도 변화될 수 있으나 약 175-275 mL/min이다. 따라서 저유량 및 최소유량의 신선가스를 사용할 경우 흡입가스의 산소 분율을 증가시켜 주어야 안전하며, 흡입산소분율의 감시가 필수적임과 동시에 마취에 많은 경험이 있는 마취과의사에 의하여 시행되어야 한다.²²⁾ 또한 신선가스 유량을 감소시키면 회로에서 운반되어지는 가스의 구성 성분과 실제 환자에게 투여되는 가스 사이의 차이가 발생될 수 있다.¹²⁾ 따라서 저유량 마취를 시행할 경우 초기에는 고유량의 산소를 이용하여 순환 시스템과 기능적 잔류량의 탈질소화가 필요하다.²³⁾ 이러한 이유 등으로 인하여 저유량 마취의 시도가 과거부터 보편화되지 못하였으나 최근에는 맥박산소계측기, 호기말 이산화탄소분석기 혹은 다중 가스분석기 등과 같은 많은 감시장치들이 널리 사용되고 있어 이에 따른 위험성은 마취과 의사들이 충분히 관리할 수 있게 되었으며 특히 다중가스분석기는 정확한 농도의 흡입마취제 투여를 가능하게 한다.²⁴⁾ 또한 탄산가스 흡수장치가 있기는 하나 그 색깔의 변화만으로는 흡수 기능을 완전 평가할 수 없으므로 저유량 마취 시에는 이산화탄소 감시장치의 사용이 필수적이다.¹⁶⁾ 그러나 본 연구 결과에 의하면 16개 대학병원과 15개 종합병원에서 마취 시 맥박산소계측기를 사용하는 경우는 77.0%, 호기말 이산화탄소분석기 혹은 다중 가스분석기를 사용하고 있는 경우는 72.1%로 나타나 아직까지 환자감시를 위한 감시장치

의 보급이 충분하지는 못한 것으로 나타났다.

고유량의 신선가스를 사용할 경우 상대적으로 저산소증 및 고탄산혈증의 위험성은 감소되나 흡입마취제와 아산화질소의 수술실 내로 배출이 발생할 수 있으며, 이는 오존층 파괴나 온실효과를 나타내기도 한다고 알려져 있다. 이를 위하여 마취가스 제거 체계를 사용하기는 하지만 이 장치는 공기 오염의 약 90% 정도를 감소시킬 수 있기는 하지만 나머지 10%의 대기로의 노출을 피할 수는 없다. 따라서 신선가스 유량을 감소시키는 것은 환경 친화적인 방법이 되기도 한다.^{25,26)}

비록 본 연구를 위한 설문이 순수한 무작위 추출이 아니었으므로 일반화하기에는 다소 제한점이 있으나 응답자들의 지역 편중이나 병원 편중은 나타나지는 않았다.

결론적으로 저유량 마취 및 고유량 마취 모두 각각 다양한 장단점들을 가지고 있음에도 불구하고 여전히 대부분의 한국 마취과 의사들, 특히 전공의들에서 이에 대한 고려 없이 고유량 마취를 습관적으로 사용하고 있는데, 최근 sevoflurane과 desflurane과 같은 용해도가 낮아 저유량 마취가 개발된 시점에서 저유량 마취의 시행에 대하여 고려해볼 필요가 있다고 생각된다. 또한 전공의에 대하여 신선가스 유량과 흡입마취제에 대한 기본적인 이론이 검비될 수 있도록 하는 전문의의 지도가 필요할 것으로 생각된다. 아울러 신선가스 유량을 감소시켜 저유량 마취를 시행할 경우에는 마취장비 및 흡입마취의 약동학을 충분히 이해하여야 안전한 마취를 시행할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구를 위한 설문 조사에 답하여 주신 대한마취과학회 회원 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Morgan GE, Mikhail MS, Murray MJ: Clinical anesthesiology 3rd ed. New York, Appleton & Lange. 2002, pp 29-32.
- Cotter SM, Petros AJ, Dore CJ, Barber ND, White DC: Low-flow anesthesia: practice, cost implications and acceptability. *Anaesthesia* 1991; 46: 1009-12.
- Eger EI: Economic analysis and pharmaceutical policy: a consideration of the economics of the use of desflurane. *Anaesthesia* 1995; 50: S45-8.
- Body SC, Fanikos J, DePeiro D, Philip JH, Segal BS: Individualized feedback of volatile agent use reduces fresh gas flow rate, but fails to favorably affect choice. *Anesthesiology* 1999; 90: 1171-5.
- Coetzee JF, Stewart LJ: Fresh gas flow is not the only determinant of volatile agent consumption: a multi-centre study of low-flow anaesthesia. *Br J Anaesth* 2002; 88: 46-55.
- Baker AB: Low flow and closed circuits(editorial). *Anaesth Intens Care* 1994; 22: 341-2.
- Matjasko J: Economics impact of low-flow anaesthesia. *Anesthesiology* 1987; 67: 863-4.
- Chalon J, Patel C, Ramanathan S, Turndorf H: Humidification of the circle absorber system. *Anesthesiology* 1978; 48: 142-6.
- Foldes FF, Ceravolo AJ, Carpenter SL: The administration of nitrous oxide- oxygen anesthesia in closed systems. *Ann Surg* 1952; 136: 978-81.
- Virtue RW: Minimal flow nitrous oxide anesthesia. *Anesthesiology* 1974; 40: 196-8.
- Baum AB: Low flow and closed circuits. *Anaesth Intens Care* 1994; 22: 341-2.
- Gregorini P: Effect of low fresh gas flow rates on inspired gas composition in a circle absorber system. *J Clin Anesth* 1992; 4: 439-43.
- Meakin GH: Low-flow anaesthesia in infants and children. *Br J Anaesth* 1999; 83: 50-7.
- Weiskopf RB, Eger II EI: Costs of inhaled anesthetics. *Anesthesiology* 1994; 80: 1407-8.
- Baum JA, Aitkenhead AR: Low-flow anesthesia. *Anesthesia* 1995; 50: S37-44.
- Ohrn M, Gravenstein N, Good ML: Duration of carbon dioxide absorption by soda lime at low rates of fresh gas flow. *J Clin Anesth* 1991; 3: 104-7.
- Logan M: Breathing systems: effect of fresh gas flow rate on enflurane consumption. *Br J Anaesth* 1994; 73: 775-8.
- Spence A: Environmental pollution by inhalation anaesthetics. *Br J Anaesth* 1987; 59: 96-103.
- Bengston JP, Sonander H, Stenqvist P: Preservation of humidity and heat of respiratory gases during anaesthesia-a laboratory investigation. *Acta Anaesthesiol Scand* 1987; 31: 127-31.
- Bailey CR, Ruggier R, Cashman JN: Anaesthesia: cheap at twice the price? Staff awareness, cost comparisons and recommendations for economic savings. *Anaesthesia* 1993; 48: 906-9.
- Bengston JP, Sonander H, Stenqvist P: Comparison of costs of different anaesthetic techniques. *Acta Anaesthesiol Scand* 1988; 32: 33-5.
- Mollhoff T, Burgard G, Prien T: Low-flow and minimal-flow anaesthesia using the laryngeal mask airway. *Eur J Anesthesiol* 1996; 13: 456-62.
- Morita S, Latta W, Hambro K, Snider MT: Accumulation of methane, acetone, and nitrogen in the inspired gas during closed-circuit anaesthesia. *Anesth Analg* 1985; 64: 343-7.
- Sobreira DP, Jreige MM, Saravia RA: The fresh-gas flow sequence at the start of low flow anaesthesia. *Anaesthesia* 2001; 56: 379-80.
- Usubianga L, Aldrete JA, Fiseriva-Bergerova V: Influence of gas flows and operating room ventilation on the daily exposure of anesthetists to halothane. *Anesth Analg* 1972; 51: 968-74.
- Virtue RW, Escobar A, Modell J: Nitrous oxide levels in operating room air with various gas flow. *Can Anaesth Soc J* 1979; 26: 313-8.