PhysioFlex 마취기를 이용한 폐쇄식과 반폐쇄식 마취방법에 따른 마취제 소모량 비교

한양대학교 의과대학 마취과학교실

송 익 상

- Abstract -

Comparison of Consumed Amount of Volatile Anesthetics between the Closed with PhysioFlex Anesthesia Machine and Semiclosed Anesthesia Systems

Ik Sang Seung, M.D.

Department of Anesthesiology, College of Medicine,
Hanyang University Seoul Hospital, Seoul, Korea

Background: A circle system can be closed or semiclosed depending on the amount of fresh gas flow. A closed system is one in which the inflow gas exactly matches that being taken up or consumed by the patient. A semiclosed system is associated with partial rebreathing of gases and is the most commonly used system today. The purpose of this study is to examine the actual consumed amount of volatile anesthetic by closed and semiclosed anesthesia systems.

Methods: Forty-seven patients undergoing general inhalation anesthesia with enflurane and thirty-six patients with isoflurane were examined. Each group was divided into two subgroups by the circle system; enflurane-closed(33 patients), enflurane-semiclosed(14 patients), isoflurane-closed(23 patients), and isoflurane-semiclosed groups(13 patients). Closed system was performed by using PhysioFlex anesthesia machine. The difference of initial(just before anesthesia) and remained(just after anesthesia) enflurane or isoflurane volumes measured by 30 ml-syringe was obtained as consumed amount of anesthetics. This amount was calculated on the base of 1% enflurane or isoflurane for 1 hour anesthesia with a given fresh gas flow(4 to 5 L/min).

Results: Consumed amount of liquid enflurane and isoflurane when using closed system was 6.99 ± 0.26 ml/hr and 4.84 ± 0.27 ml/hr respectively while 15.99 ± 1.48 ml/hr and 14.01 ± 0.92 ml/hr respectively when using semiclosed system. Consumption of liquid anesthetics was significantly lower in closed anesthesia and significantly higher in both systems than those of predicted values.

Conclusions: In closed system by using PhysioFlex anesthesia machine consumed amount of liquid anesthetic for 1 hour anesthesia with 1% of endtidal anesthetic concentration at 25°C, 1 atm and 4 to 5 L/min of fresh gas flow was within 35 to 44% of that in semiclosed system. (Korean J Anesthesiol 1998; 34: 758~763)

Key Words: Anesthetics, volatile: enflurane; isoflurane; consumption. Circuit: closed; semiclosed.

서 론

흡입마취를 위한 마취회로는 현재 Mapleson 체계와 순환체계(폐쇄식, 반폐쇄식)로 구분되는데 성인의 경우는 주로 반폐쇄식을 사용하고 있다. 그러나 반폐쇄식에 비해서 폐쇄식은 매개가스의 최소화, 마취제가스의 수술실 오염도 극소화, 환자의 수분 및 열손실의 최소화, 마취제 사용량 감소 등의 이점이 있음이 강조되고 있다.¹⁾ 이와같은 잇점에도 불구하고 마취기 개발이 늦어 폐쇄식 마취방법이 임상에서 이용되지 않고 있다가 최근 의공학과 컴퓨터 기술의 급속한 발달로 폐쇄식 마취기(예: Physio-Flex®, Physio medical systems, Netherlands)가 개발되어 임상에 소개되어 본원에서도 4년전부터 사용하고 있다. 한편, 휘발성마취제 약값 산정은 이론적으로 계산한 소모량을 기준으로 삼고 있는데, 실제 마취시 소모된 흡입마취제량을 측정한 보고가 없기 때문에 차제에 폐쇄식과 반폐쇄식 마취기 사용시의 실제 마취제 소모량을 측정해 보고자 본 연구를 실시하였다.

대상 및 방법

휘발성마취제는 현재 임상에서 흔히 사용되는 엔플루란과 이소플루란을 대상으로 하였고 폐쇄식은 PhysioFlex 마취기(Physio Medical Systems, Netherlands), 반폐쇄식은 Enflurane Vapor 19.2 및 Isoflurane Vapor 19.3 기화기가 부착된 Dräger 마취기(Drägerwerk AG, Germany)를 사용하였다.

연구 대상자는 연령 20~70세 사이로 기관내삽관 전신흡입마취를 받는 남녀환자 83명을 대상으로 무작위로 엔플루란군(47명)과 이소플루란군(36명)으로 대별하였고, 각 군은 다시 폐쇄식과 반폐쇄식군으로 세분하여 조사하였는데, 엔플루란-폐쇄식군 33명, 엔플루란-반폐쇄식군 14명, 이소플루란-폐쇄식군 23명 및 이소플루란-반폐쇄식군 13명이었다. 폐쇄식군은 주로 일반외과 환자로서 복부절개 환자였고, 반폐쇄식군은 주로 성형외과 환자였다. 각 군의 환자특성은 Table 1과 같다.

본 연구를 실시할 때의 수술실 온도는 24~26°C 이었고, 수술실 대기압은 측정하지 못하여 1기압으로 간주하였다.

전신마취시 실제 소모되는 마취제량 측정은 다음과 같이 실시하였다. 마취시작전에 엔플루란액 또는 이소플루란액 30 ml를 30 ml 주사기로 측정하여 기존 마취제병(폐쇄식군) 또는 기화기(반폐쇄식군)에 넣고 마취기의 호기말 마취제 농도를 0.5, 1.0, 1.5, 및 2.0%로 설정하여 마취하면서 각 농도에서 마취제를 투여한 시간을 기록하고, 마취제 투여를 종료한 후 마취제병 또는 기화기에 남은 마취제량을 같은 30 ml 주사기로 측정하여 그 차이를 구하고 이를 마취제 소모량으로 계산하였다.

환자에게 공급한 분당 신선가스유량은 폐쇄식은 PhysioFlex 마취기에 환자의 성별, 연령, 체중을 입력하여 얻었고(평균 5.1~5.2 L/min) 매개가스는 아산화질소와 산소를 각각 50%로 설정하였으며, 반폐쇄식에서는 신선가스유량을 아산화질소 2 L/min와 산소 2 L/min로 총 4 L/min를 택하였다.

각 마취제의 실제 소모량은 현재 임상에서 흔히

Table 1. Demographic Data

Group	Anesthesia Technique	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)
Enflurane	Closed(n=33)	43.5±2.4	160.6±1.5	61.6±1.7
	Semiclosed(n=14)	27.4±3.0*	163.0±1.9	59.0±1.8
Isoflurane	Closed(n=23)	47.0±2.6	61.2±1.5	61.3±1.9
	Semiclosed(n=13)	35.8±3.3**	162.7±2.3	55.9±1.4

*P<0.05 vs enflurane-closed group by ANOVA Scheffé test, **P<0.05 vs isoflurane-closed group by ANOVA Scheffé test, All values are mean±standard error

이용되는 조건 즉 신선가스유량 4 L/min, 수술실 온도 25°C 및 1기압 상태에서 호기말 마취제 농도 1%로 1시간동안 마취하였을 때의 소모량으로 계산하였다. 또한 두 마취제의 소모량을 비교하기 위해서 신선가스유량을 1 L로 기준하여 시간당 소모량을 구하였다.

마취제 소모량 예측치는 실제 마취시와 같은 분당 신선가스유량, 주위온도, 및 기압 상태에서 마취제 1%로 1시간동안 마취한다는 조건으로 계산하고 이를 평균하여 소모량 예측치로 삼아 실제 소모량과의 차이를 조사하였다.

본 연구결과는 모두 평균±표준오차로 표시하였고, 통계는 ANOVA Scheffé 검사를 실시하여 $p < 0.05$ 인 경우를 유의한 것으로 판단하였다.

결 과

신선가스유량 4~5 L/min, 수술실 온도 25°C, 1기압 상태에서 폐쇄식과 반폐쇄식으로 1% 엔플루란 또는 1% 이소플루란 마취를 1시간동안 실시하였을 때 실제 마취제 소모량과 소모량 예측치는 Table 2와 같다.

분당 환기량은 폐쇄식과 반폐쇄식군이 각각 5.11 ± 0.09 – 5.28 ± 0.08 L/min와 4.00 ± 0.00 L/min로서 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$).

신선가스유량이 4~5 L/min일 때 시간당 마취제 소모량은 엔플루란-폐쇄식군 6.99 ± 0.26 ml/hr, 엔플루란-반폐쇄식군 15.99 ± 1.48 ml/hr, 이소플루란-폐쇄식군 4.84 ± 0.27 ml/hr, 및 이소플루란-반폐쇄식군

14.01 ± 0.92 ml/hr로서 각 마취제 소모량은 폐쇄식과 반폐쇄식군간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$). 즉 마취제 소모량은 폐쇄식이 반폐쇄식에 비해 유의($P < 0.05$)하게 적어서 엔플루란은 반폐쇄식 때의 43.7%, 이소플루란은 34.6%이었다(Fig. 1).

신선가스유량을 1 L/min 단위로 기준하여 환산한 시간당 마취제 소모량은 엔플루란-폐쇄식군 0.022 ± 0.001 ml/L/hr, 엔플루란-반폐쇄식군 0.067 ± 0.006 ml/L/hr, 이소플루란-폐쇄식군 0.016 ± 0.001 ml/L/hr, 및

Fig. 1. Percentage of the consumed amount of volatile anesthetic in closed system from that in semiclosed system. The amount(liquid anesthetic, ml/hr) in closed system was significantly less than that in semiclosed system($P < 0.05$), that is, enflurane approximately 44%, isoflurane approximately 35%. These values were limited to the conditions in which they were 1% enflurane or isoflurane for 1 hour anesthesia, room temperature 25°C, 1 atm, and 4~5 L/min of fresh gas flow.

Table 2. Actual and Predicted Consumed Amount of Liquid Anesthetic of 1% Enflurane and 1% Isoflurane for 1 Hour Anesthesia in Closed and Semiclosed Systems at 25°C and 1 Atm

Anesthetics	Anesthesia method	Minute volume(L/min)	Consumed amount		Predicted value(ml/hr)
			ml/hr	ml/L/hr	
Enflurane	Closed	5.28 ± 0.08	6.99 ± 0.26	0.022 ± 0.001	3.48*
	Semiclosed	$4.00 \pm 0.00^*$	$15.99 \pm 1.48^*$	$0.067 \pm 0.006^*$	$12.04 \pm 0.00^*$
Isoflurane	Closed	5.11 ± 0.09	4.84 ± 0.27	0.016 ± 0.001	3.52*
	Semiclosed	$4.00 \pm 0.00^*$	$14.01 \pm 0.92^*$	$0.058 \pm 0.004^*$	$12.20 \pm 0.00^*$

* $P < 0.05$ vs closed groups by ANOVA Scheffé test, All values are mean±standard error.

이소플루란-반폐쇄식군 0.058 ± 0.004 ml/L/hr로서 폐쇄식군과 반폐쇄식군간에 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$). 즉 폐쇄식 마취때 시간당 소모량은 엔플루란이 반폐쇄식 때의 1/3, 이소플루란은 1/4이 소모되었다.

실제로 소모된 마취제량은 폐쇄식때와 반폐쇄식때 모두에서 예측치에 비하여 유의하게 많았는데 엔플루란은 폐쇄식때 200%($P < 0.05$), 반폐쇄식때 132.8%($P < 0.05$)를 소모하였고, 이소플루란은 폐쇄식때 137.5%($P < 0.05$), 반폐쇄식때 114.8%($P < 0.05$)이었다.

고 찰

폐쇄식과 반폐쇄식으로 엔플루란 또는 이소플루란 마취하여 마취제 소모량을 조사한 결과 폐쇄식

때가 반폐쇄식 마취때에 비해서 유의하게 적은 결과를 얻었다.

본 연구대상자의 나이는 폐쇄식군과 반폐쇄식군간에 유의한 차이가 있으나 모든 환자에서 엔플루란과 이소플루란의 체내대사율은 각각 2.4%와 0.2%²⁾로 일정하고 마취조건을 같이 하였기 때문에 본 연구결과에는 영향이 없었을 것으로 생각한다.

주위온도 25°C, 1기압에서 액체 엔플루란 1 ml가 완전 기화하면 201 ml, 이소플루란은 198.8 ml의 마취제 가스가 발생한다(계산: $1 \times 1.52 \text{ gm} = (1 \times 1.52) / 184.5 \text{ mol} = (1 \times 1.52) / 184.5 \times 22.4 \times 298 / 273 \text{ liters}$).³⁾ 따라서 25°C, 1기압하에서 반폐쇄식으로 신선가스유량 4.0 L/min와 1% 엔플루란 또는 1% 이소플루란으로 1시간동안 마취한다면 엔플루란액은 12.04 ml, 이소

Fig. 2. Schematic drawing of closed circuit ventilator. The core of this ventilator consists of membrane chambers, coupled in parallel that function on a patented principle(1). The membrane chambers separate the closed circuit anesthesia circuit from the driving component(i.e. compressed air) which produces the ventilation.

플루란액(비중 1.5)은 12.20 ml가 소요된다. 본 연구에서 신선가스유량은 반폐쇄식 방법시 4.0 L/min로 동일하였고, 폐쇄식 방법에서는 각 환자의 성별, 연령, 체중에 따라 컴퓨터에 의해서 결정되었는데(5.1~5.2 L/min) 반폐쇄식때에 비해서 유의하게 크게 나타났다. 따라서 마취제 소모량 예측치는 폐쇄식 마취방법때가 반폐쇄식때보다 유의하게 많은 것으로 계산된다.

본 연구결과 폐쇄식과 반폐쇄식 마취방법이 마취제 소모량에 차이가 있고, 폐쇄식때가 더 적은 이유는 무엇인가?

반폐쇄식은 기화기를 통해서 나온 마취제혼합가스를 환자가 호흡하는 것인데, 호기가스의 일부는 대기로, 일부는 재호흡되는 부분재호흡체계이다. 마취제 농도는 기화기 다이알로 설정하는데 일단 분당 신선가스유량과 다이알 농도를 설정하면 다이알을 끝때까지 마취제혼합가스는 설정된 농도를 계속 유지하므로 마취제는 지속적으로 소모된다. 즉 마취제 소모량은 마취제 투여시간에 비례해서 증가한다. 이에 반하여 폐쇄식은 가스순환체계가 반폐쇄식과 다르다(Fig. 2). PhysioFlex 마취기의 순환체계는 압축공기를 사용하여 폐환기를 유발하는 추진회로(Fig. 2의 1), 마취제혼합가스를 일방통행으로 순환시키는 폐쇄마취회로, 및 환자와 연결되는 호흡회로(Fig. 2의 7) 등 3부분으로 형성되어 있는데, 폐쇄마취회로와 추진회로는 4개의 막실(membrane chambers, Fig. 3의 1)에 의해서 분리되어 있다. 폐쇄마취회로에는 blower가 장치되어 있어서 분당 70 L의 가스가 일방통행으로 계속 순환하게 되며, 기화기 대신에 폐쇄마취회로에 직접 마취제액을 주입하는 자동주입체계(Fig. 2의 12)가 있어서 이를 통해 마취제가 액체상태로 첨가되는데, 폐쇄마취회로내의 분당 가스유량이 크기 때문에 마취제는 즉각적으로 증기화되고 설정된 마취제농도에 빠르게 도달한다. 마취 및 수술이 진행됨에 따라 마취제가 환자의 체내조직으로 포화되거나 외과적 수술창을 통한 증발에 의해서 손실되지 않는 한 마취제 소모량은 마취시간과는 관계없이 일정하다. 본 연구에서 마취제가 체내조직에 포화되는 양이나 수술창의 표면적을 측정할 수 없었기 때문에 환자의 수술창 크기에 따른 소모량 차이는 알 수 없었다. 예를 들어 PhysioFlex마취기를 이용하여 1% 엔플루란 마취를 하면 이론적으로

25°C, 1기압하에서 엔플루란액은 마취시간에 관계없이 3.48 ml만이 필요하게 되는데, 실제 1시간 마취한 경우 측정된 엔플루란 소모액은 약 7 ml로 조직내 포화, 수술창 등으로 소실됨을 반영하는 것으로 생각되며, 따라서 반폐쇄식때 보다는 마취시간이 미치는 영향은 적은 것으로 평가된다. 환언하면, 신선가스유량과 마취농도가 같은 조건에서 마취제 소모에 크게 영향을 주는 인자는 폐쇄식때는 마취시간보다 환자인자에 의해서, 반폐쇄식때는 환자인자보다 마취시간에 따라 좌우되므로 폐쇄식때가 반폐쇄식 때보다 소모량이 훨씬 적어진다.

폐쇄식이나 반폐쇄식으로 마취할 때는 마취제 소모량이 예측치 보다 더 많이 소모된 까닭은 무엇인가?

본 연구에서 마취제 소모량 예측치는 일정한 분당 신선가스유량(폐쇄식에서는 환자특성에 따라 결정, 반폐쇄식에서는 4.0 L/min), 주위온도 25°C, 1기압 상태에서 1% 마취제 농도로 1시간동안 마취한다는 조건으로 계산하였다. 그런데 폐쇄식때의 예측치는 시간인자를 계산하지 않은 것이므로 실제 마취제 소모량은 예측치보다 훨씬 많이 들었다. 이에 반하여 반폐쇄식일 경우는 마취시간에 비례하여 소모되고 수술실온도와 대기압에 의해서 휘발되는 양이 달라지므로 실제 소모량은 예측치와 같거나 더 많게 또는 더 적게 소모될 수 있다. 기화기내의 온도와 기압의 변화는 Boyle-Charles법칙⁴⁾에 의해서 마취제 증발량을 증감시킨다. 온도가 하강하면 이에 비례하여 증발량이 적어지고, 따라서 마취제 소모량이 증가한다. 반면에 기압이 높아지면 이에 역비례하여 증발량은 감소하여 소모량은 증가한다. 본 연구결과 실제 소모량이 예측치보다 큰 이유는 아마도 이런 인자들의 변화 때문일 것으로 추측되나 본 연구에서는 규명하지 못하였다.

요약하여 실제 마취제 소모량은 폐쇄식으로 마취할 때 반폐쇄식 때보다 엔플루란은 43.7%, 이소플루란은 34.6% 정도만 소모되었다. 또한 폐쇄식때는 엔플루란은 예측치의 200%, 이소플루란은 137.5% 소모되었는데 반하여, 반폐쇄식때는 엔플루란은 예측치의 132.8%, 이소플루란은 114.8%가 소모되었다. 이와같은 결론으로 보아 반폐쇄식으로 전신마취하는 것에 비해 PhysioFlex 마취기를 이용하여 폐쇄식 방법으로 마취하면 마취제 소모량을 55% 내지 65%

까지 절약할 수 있었고, 반폐쇄식때는 실제 소모량이 예측치보다 더 많았음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Longnecker DE, Murphy FL: Introduction to anesthesia. 9th ed, Philadelphia, WB Saunders. 1997, pp 77.
 2. Miller RD: Anesthesia. 4th ed, New York, Churchill Livingstone. 1994, pp 203-7.
 3. Gray TC, Nunn JF, Utting JE: General anaesthesia. 4th ed, London, Butterworths. 1980, pp 46-51.
 4. Hill DW: Physics applied to anaesthesia. 4th ed, London, Butterworths. 1980, pp 259-62.
-