국산 및 미국산 Soda Lime의 소모시간과 완전 소모 후 재작용 시간에 대한 임상적 연구

한양대학교 의과대학 마취과학교실

승 익 상 · 김 동 원 · 심 재 철

= Abstract =

Clinical Study of the Duration of CO₂ Absorption of ROK- and USA-produced Soda Lime and Their Re-use Time after Being Exhausted

Ik Sang Seung, M.D., Dong Wun Kim, M.D., and Jae Chul Sim, M.D.

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

Background: In a circle system, gas that is to be reused is cleared of carbon dioxide by passing through a canister containing a chemical CO₂ absorbent. In anesthesia textbooks the utilization time of carbon dioxide is nearly always specified to last about 5 hours. The soda lime used was noted to regenerate its efficiency for CO₂ absorption after being exhausted. Two different types of soda lime (a ROK product and USA product) were analyzed in patients for their duration of carbon dioxide absorption from the anesthetic closed circle system and re-use time after being exhausted.

Methods: General inhalation anesthesia was performed using a PhysioFlex anesthesia machine. To determine the duration of carbon dioxide absorption by soda lime and the re-use time after being exhausted, twenty seven (ROK; 20 and USA; 7) and fifty (ROK; 22 and USA; 28) adult patients were studied. Duration of CO₂ absorption was determined as the time for the inspired CO₂ concentration to reach 0.5%. The color change of ethyl violet in soda lime was observed throughout the study. Duration of CO₂ absorption was compared by unpaired t-test. Re-use time of each group was analysed by simple regression; p less than 0.05 was considered significant.

Results: Duration of CO₂ absorption was 2.67 ± 2.12 hrs for the ROK product and 9.52 ± 0.68 hrs of USA product, and they were different significantly ($P < 0.05$). Regression equations of ROK- and USA-products were $y = 5.761x + 45.701$ ($r^2 = 0.0438$, $P = 0.3496$, x means day after being exhausted) and $y = 0.6x + 33.179$ ($r^2 = 0.0158$, $P = 0.5233$) respectively. A color change of ethyl violet in ROK soda lime was not observed throughout the chemical reaction.

Conclusions: From the above results we suggest that ROK soda lime is not effective yet to use for CO₂ absorption in clinical anesthesia. It is marked shorter than that of the USA soda lime. A color change of ethyl violet was not observed throughout the chemical absorption reaction in ROK soda lime. Re-use time of both soda limes were not related with the duration after being exhausted. (**Korean J Anesthesiol 2001; 40: 455~459**)

Key Word: Carbon dioxide: absorption.

논문접수일 : 2001년 2월 9일

책임저자 : 승익상, 서울시 성동구 행당동 17, 한양대학교병원 마취과, 우편번호: 133-792

Tel: 02-2290-8682, 8824, Fax: 02-2290-8682, E-mail: sisang@hanyang.ac.kr

서 론

마취기의 반폐쇄식 또는 폐쇄식 환기체계는 환자의 호기가스를 부분 또는 완전 재호흡 하도록 설계되어 있어서 마취 중에 대사산물로 생성되는 분당 약 200 cc의 탄산가스를 제거해야 한다. 그렇지 않으면 탄산가스를 재호흡하게 되어 과탄산혈증, 고혈압, 빈맥, 피부건조, 심부정맥, 뇌혈류량 증가, 뇌압 증가 등을 유발한다.¹⁾

탄산가스 제거에는 포타슘, 소디움, 리튬, 바리움, 칼슘 등의 수산화화합물이 사용되는데 이 중에서도 소다라임이 가장 흔히 쓰이고 있다.²⁾ 소다라임 통(canister)은 마취기의 호기밸브와 흡기밸브 사이에 위치하며, 보통 용량이 500 cc인 통 2개를 겹쳐 연결하여 사용하지만 마취기에 따라서는 소다라임 통 1개만을 사용하는 경우도 있다.

소다라임은 pH 지시약이 첨가되어 있어서 사용 전에는 무색인데 탄산가스와 반응을 하면 점차 보라색으로 변한다. 전신마취 중에 소다라임이 작용하고 있는가는 소다라임 통 벽에 응축된 물방울, 소다라임 통의 온도 증가, 소다라임의 색깔변화 등을 관찰하여 알 수 있다. 그러나 이런 객관적 징후가 뚜렷하지 않거나 감지를 못했을 경우에는 이미 탄산가스 흡수 능력이 모두 소모된 소다라임을 계속 사용하게 되는 결과로 호기 중의 탄산가스가 그대로 재흡입될 수 있다. 따라서 소다라임의 총 소모시간이 어느 정도가 되는지를 아는 것도 탄산가스 재호흡을 예방할 수 있는 방법의 하나라고 생각된다. 또한 소다라임은 사용 후 공기에 방치해 두면 보라색 색깔이 다시 사용 전 색깔로 변하므로 이를 다시 사용하여도 탄산가스 흡수능력이 하자가 없다고 생각할 수도 있다.

본 연구는 첫째, 현재 국내에서 사용되고 있는 국산과 미국산 소다라임의 소모시간을 측정하고 둘째, 소다라임이 완전히 소모된 후 일정한 기간동안 공기 중에 방치하였다가 다시 사용하였을 때 재작용시간이 어느 정도인가를 알아보기 위해서 조사하였다.

대상 및 방법

소다라임의 소모시간 측정은 수술시간이 적어도 4시간 이상 걸릴 것으로 추측되는 기관내 삽관 전신

흡입마취 남녀 환자 27명을 대상으로 하였고, 남녀 구분없이 무작위로 국산 소다라임(동아위생주식회사, 대한민국)을 사용한 국산군 20명, 미국산 소다라임(Sodasorb 4-8 IND H MED, W.R. Grace & Co., USA)을 사용한 미국산군 7명으로 나누어 조사하였다.

마취는 폐쇄식 마취기인 PhysioFlex (model No. 54051001, Physio Medical Systems, Netherlands)를³⁾ 사용하였다. PhysioFlex 마취기는 용량이 500 ml인 탄산가스 흡수장치 통이 2개 있으나 작용시에는 1개씩 별개로 사용하도록 되어있고 흡기 중의 탄산가스 농도가 0.5% 이상일 때는 시각 및 청각경보가 울린다. 소다라임 소모시간은 소다라임 통에 소다라임을 골고루 잘 채운 후 마취기를 이용하여 호흡을 시작한 때부터 탄산가스 경보가 울릴 때까지의 시간으로 하였고, 경보가 울리지 않고 마취가 종료된 경우에는 다음 환자의 마취 때 계속 사용하는 방법으로 측정하였다. 본 마취기는 컴퓨터로 제어되기 때문에 환자의 체중과 연령을 입력하면 자동적으로 일회호흡량과 호흡수가 결정되므로 각 대상자마다 분당환기량을 기록하여 평균치를 구하였다. 또한 소다라임이 적절하게 소모되는 지를 알 수 있는 지표의 하나인 소다라임 색깔변화를 조사하였다.

일단 완전하게 소모된 소다라임의 재작용 시간은 기관내삽관 전신흡입마취 남녀 환자 50명을 대상으로 하였고, 역시 남녀 구분 없이 무작위로 국산군 22명과 미국산군 28명으로 나누어 조사하였고, 마취기는 PhysioFlex를 사용하여 상기와 동일하게 실시하였다. 방치기간과 재작용 시간과의 상관관계를 알아보기 위해서 소모한 소다라임의 방치기간을 0.68 ± 0.39 일에서부터 10.45 ± 3.04 일까지 무작위로 구분하여 사용하였다.

통계분석은 StatView 프로그램을 사용하여 소다라임의 소모시간 비교는 unpaired t-test로, 재작용 시간의 비교는 단순회귀분석으로 분석하여 P값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

소다라임의 소모시간을 측정한 국산군과 미국산군 조사대상자의 평균 분당환기량은 각각 4.98 ± 0.37 L와 5.21 ± 0.37 L로써 차이가 없었으며(Table 1) 이들의 평균 소모시간은 각각 2.67 ± 2.12 hr, $9.52 \pm$

Table 1. Patients Demography

Group	No. of patients	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Minute volume (L)
ROK	20	41.6 ± 13.5	158.5 ± 6.3	57.6 ± 8.4	4.98 ± 0.37
USA	7	43.8 ± 13.9	164.5 ± 12.3	62.1 ± 5.0	5.21 ± 0.37

All values are mean ± SD.

Table 2. Patients Characteristics for Study of Re-use Time of Exhausted Soda Lime

Group	No. of patients	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Minute volume (L)
ROK	22	40.4 ± 19.8	159.5 ± 8.3	57.6 ± 9.7	4.92 ± 0.54
USA	28	42.8 ± 15.5	161.8 ± 8.1	64.6 ± 9.3	5.40 ± 0.41

All values are mean ± SD.

Fig. 1. This picture was plotted the duration of CO₂ absorption by two different soda limes. The utilization time of ROK-made soda lime was markedly shorter than that of USA-made soda lime ($P < 0.05$).

0.67 hr로 미국산이 유의하게 길었다($P < 0.05$, Fig. 1).

소모된 소다라임의 재작용 시간을 측정한 국산군과 미국산군 조사대상자의 평균 분당환기량은 각각 4.92 ± 0.54 L와 5.40 ± 0.41 L이었다(Table 2). 재작용시간(y, min)과 방치시간(x, day)의 회귀곡선 방정식은 국산군과 미국산군 각각에서 $y = 5.761x + 45.701$ ($r^2 = 0.0438$, $P = 0.3496$, Fig. 2)와 $y = 0.6x + 33.179$ ($r^2 = 0.0158$, $P = 0.5233$, Fig. 3)로서 방치시간과 재작용시간과는 통계적으로 상관관계가 없음을 나타내었다.

소다라임 통의 색깔변화를 조사한 바 국산 소다라임은 완전히 소모될 때까지 변화가 전혀 없었는데

Fig. 2. The utilization time of ROK-made soda lime once used was not appeared to relate to the duration (days) after being exhausted ($y = 5.761x + 45.701$, $r^2 = 0.0438$, $P = 0.3496$). But even the soda lime used can be re-utilized for about 1 hour after completely consumption without relationship of its air-exposed days.

비해서 미국산 소다라임은 호흡시작 후 약 60여분 후부터 작용부위부터 보라색으로 변하기 시작하였다.

고 찰

소다라임의 소모시간은 신선가스유량에 따라 다른데 Ohm 등은⁴⁾ 신선가스유량이 클수록 소다라임의 소모시간이 더 길어짐을 보고하였다. 일반적으로 마취교과서에는 거의 모두 약 5시간이라고 하였다.⁵⁾ 신선가스유량이 감소하면 재호흡량이 증가해야 하니

Fig. 3. The utilization time of USA-made soda lime once used was not appeared to relate to the duration (days) after being exhausted ($y = 0.6x + 33.179$, $r^2 = 0.0158$, $P = 0.5233$). But even the soda lime used can be re-utilized for about 35 minutes after completely consumption without relationship of its air-exposed days.

까 소다라임 소모가 더 커서 소모시간이 더 짧아질 것이다. Baum 등은⁵⁾ 신선가스유량이 분당 4.4 L이고 소다라임 통 용적이 1 L일 때 소다라임 소모시간이 42.7-62.3 hr이었고, 소다라임 통이 1.5 L일 때는 98.7 hr였다고 보고하였다. 또한 신선가스유량이 분당 0.5 L이면 분당 4.4 L일 때의 2배 내지 4배나 소다라임 소모가 증가할 것이라고 하였다. 그러나 본 연구에 사용한 마취기는 이들이 사용한 반폐쇄식 환기체계 대신에 폐쇄식 환기체계를 사용하고 있기 때문에 이들의 결과와는 달리 소다라임 통을 통과하는 분당환기량이 클수록 소다라임 소모가 더 많을 것이다. 본 연구에서 대상자의 분당환기량이 양군에서 차이가 없는데도 불구하고 외국산 소다라임의 소모가 유의하게 더 적게 나타났는데 그 이유는 알 수가 없었다. 본 연구에서 사용한 PhysioFlex 마취기에 장착된 소다라임 통의 용적은 500 cc인데 소다라임의 소모시간은 약 6시간이다.⁶⁾ 본 연구결과 외국산 소다라임의 소모시간은 제조회사에서 제시한 6시간보다 훨씬 길었는데 반해 국산은 외국산의 4배 정도나 감소하였음을 보였다. 또한 외국산에서는 소다라임이 소모되는 부위에서 색깔변화가 있었으나 국산은 색깔변화가 없었던 점은 소다라임 공정조건(승온속도, 정상상태의 온도, 압력 등)에 어떤 차이점이 있지 않을까 추측되나 이에 대해서는 제조회사에서 철

저하게 분석해야 할 문제라고 생각한다.

소다라임은 94% Ca(OH)_2 , 5% NaOH , 1% KOH 및 소량의 silica로 구성되어 있고 입자의 크기가 4-8 mesh로서 ethyl violet 및 pH 지시약이 들어가 있으며, 입자의 산도는 10.3으로 사용 전에는 무색이었다가 탄산가스와 화학적 반응을 하여 산도가 점차 높아지면 보라색으로 변한다.⁷⁾ 국산 제품인 소다라임은 크기가 3-5 mesh이고 그 성분은 단순히 Ca(OH)_2 , NaOH , KOH 의 혼합물이라고 표기되어 있고 사용시 정도에 따라 다르나 보라색으로 착색된다고 적혀 있다. 그러나 색깔변화는 전혀 없었던 점은 제조과정을 더 연구해야 할 것이다. 이에 비해 외국산 Soda-sorb는 Ca(OH)_2 80% 이상, NaOH 4% 미만, pH 지시약은 1% 미만으로 구성되어 있다.

소다라임의 탄산가스 흡수능력은 소다라임 100 그램당 26 L이지만 벽효과(channeling effect) 때문에 실제로는 10-20 L이다.⁸⁾ 소다라임이 탄산가스를 흡수하는 화학적반응을 보면 첫째, 호기중의 탄산가스가 물과 반응하여 탄산이 되고($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$) 이 탄산이 소다라임의 구성성분인 수산화염 또는 수산화칼륨과 반응하여 탄산염, 물, 열을 발생시킨다 [$\text{H}_2\text{CO}_3 + 2 \text{NaOH(KOH)} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{K}_2\text{CO}_3) + 2\text{H}_2\text{O} + \text{heat}$]. 둘째, 반응은 보다 서서히 이루어지는 반응으로 탄산가스가 수산화칼슘과 반응하여 탄산칼슘과 물을 생성한다 [$\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$]. 반응식에서 보는 바와 같이 탄산가스는 주로 수산화염에 의해서 흡수되는데 소다라임을 사용 후 방치해 두면 수산화염이 다시 생성되기 때문에 [$\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{K}_2\text{CO}_3) + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{NaOH(KOH)}$] 초창기에는 일단 사용한 소다라임도 다시 탄산가스를 흡수하는 효능이 있는 것으로 알려지기도 하였다. 그러나 현재는 수산화칼륨과 silica가 첨가되었기 때문에 재생이 거의 되지 않고 있다.^{7,9)} 그럼에도 불구하고 소다라임은 사용 후 일정 시간이 지나면 보라색이 다시 원래 상태의 무색으로 변하기 때문에 그 효능이 반영구적인 것으로 알고 있는 일반의사가 상당히 많은 실정이다. 일단 소모된 소다라임의 재작용 시간에 대한 조사대상자가 많지 않아서 일률적으로 정의하기에는 무리가 있으나 국산이든 미국산이든 일단 소모된 소다라임도 약 1시간 정도는 탄산가스를 제거할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 재작용 시간은 방치시간과는 관계가 없었다.

마취 중에 소다라임이 적당하게 작용하는가의 여부는 작용부위에 응축되는 물방울, 온도 증가 및 색깔변화로 확인함이 보통이다. 그 중에서도 Ohm 등은⁴⁾ 온도변화가 가장 신빙성이 있다고 하였다. 본 연구에서는 온도 변화를 측정하지 않았고 색깔변화만을 조사하였는 바 국산에서는 색깔변화가 없었는데 그 원인은 알 수 없었다. 이런 소다라임은 만약 마취기에 호기중의 탄산가스 재흡입을 알 수 있는 경보장치가 없다면 과도한 탄산가스 재흡입을 예방하지 못하여 환자에게 위험한 합병증을 일으킬 수도 있을 것이다.

본 연구결과 분당환기량 4-5 L로 폐쇄식 전신마취를 할 경우 용량 500 cc인 소다라임 통 1개가 탄산가스를 흡수할 수 있는 효능은 국산 소다라임인 동아위생 제품은 소모시간이 2.67 ± 2.12 hr로 예상시간보다 훨씬 짧고, 또한 색깔변화가 전혀 없었다. 이에 반해 미국산 제품은 소모시간이 9.52 ± 0.67 hr로 예상시간보다 훨씬 길었고 색깔변화가 있어서 소모정도를 예측할 수 있었다. 또한 일단 완전하게 소모한 소다라임은 방치기간에 관계없이 적어도 30분 내지 1시간 동안 아무런 이상 없이 재사용 할 수도 있음을 알았다.

참 고 문 헌

1. Lichtiger M, Moya F: Introduction to the practice of anesthesia. 2nd ed. New York, Harper & Row Publishers. 1978, p 109.
2. Longnecker DE, Murphy FL: Introduction to anesthesia. 8th ed. Philadelphia, W.B. Saunders. 1992, p 41.
3. 승익상: 폐쇄식 마취용 PhysioFlex 마취기의 임상 사용 경험. 대한마취과학회지 1999; 36: 571-6.
4. Ohm 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.
5. Baum J, Enzenauer J, Krausse T, Sachs G: Soda lime-service life, consumption and costs in relation to fresh gas flow. Anaesthesiol Reanim 1993; 18: 108-13.
6. Physio medical systems: PhysioFlex manual user. Netherlands. 1995, pp 69.
7. Dewey & Almy Chemical Division: The sodasorb manual of CO₂ absorption. New York, W.R. Grace & Co., 1962.
8. Miller RD: Anesthesia. 4th ed. New York, Churchill Livingstone. 1994, pp 207.
9. Adrian J: Carbon dioxide absorption. Springfield, IL, Charles C Thomas. 1962, pp 151.