

Bag-Valve 용수환기시 환기빈도와 손의 특성이 흡입 산소농도와 일회 환기량에 미치는 영향

전북대학교 의과대학 응급의학교실 및 의과학 연구소*

진영호* · 정태오 · 강지훈 · 이재백*

=Abstract=

The Effects of Ventilation Rate and Characteristics of the Hand on Inspiratory Oxygen Concentration and Tidal Volume During Bag-Valve Ventilation

Young Ho Jin, M.D.*, Tae Oh Jeong, M.D., Ji Hun Kang, M.D., Jae Baek Lee, M.D.*

*Department of Emergency Medicine, Chonbuk National University
Medical School and Hospital*

Background : The self-inflating bag-valve resuscitator is an useful breathing support equipment in the cardiopulmonary resuscitation, the transportation of patients who required ventilation assist, or respiratory therapy. The inspiratory oxygen concentration (FiO₂) or tidal volume (VT) delivered to the patient depends on various conditions during bag-valve ventilation.

Methods : During bag-valve ventilation without a reservoir at oxygen flow rates of 10 l /min, we evaluated fifty six volunteers to determine the FiO₂ and VT at ventilatory frequencies of 10, 12, and 15 cycles per minute and to observe the effect of hand size and grasp power on FiO₂ and VT in two-hand compression methods.

Results : The FiO₂ at frequency of 10 cycles/min were 50.1% and it was higher than other ventilatory frequencies. However, the VT was not statistically different among the changes of ventilatory frequency. In the change of VT according to characteristics of the hand, the operator's hand size exerted influence on VT (larger vs. smaller ; 942 ml vs. 885 ml, p<0.05), but the grasp power of the hand did not significantly affect. Separate analyses with size or grasp power of the hand failed to reveal significant differences of the FiO₂.

Conclusion : The results suggest that a slowing of ventilatory frequency within the allowable ranges for adequate gas exchange increase the FiO₂ during bag-valve ventilation without reservoir, and that hand size may exert influence on the VT without FiO₂ changes but grasp power may not be a contributing factor to the VT or FiO₂ changes.

Key Words : Bag-Valve ventilation, Tidal volume, Inspiratory oxygen concentration

* 이 논문은 1996년 전북대학교 지원 연구비에 의하여 연구되었음.

저지연락처 : 전북 전주시 덕진구 금암동 634-18, 전북대학교병원 응급의학과 진영호

I. 서론

Bag-valve 용수환기기는 환기량이 자가 재 팽창되는 특성을 가지고 있어 시술자의 손 이외에 별도의 동력원 없이도 양압의 환기를 제공할 수 있으므로 환기보조를 필요로 하는 응급 심폐소생술이나 호흡운동이 부적절한 환자의 이송시, 또는 호흡요법 중 널리 사용되고 있다¹⁻²⁾. 특히 심폐소생술을 요하는 환자에서는 흉부 압박에 의한 순환유지 중에도 환기 유지와 동맥혈의 산소화가 필수적이므로 고 농도의 흡입산소와 충분한 일회 환기량을 제공하기 위하여 기관내 삽관 후 용수환기기가 이용되며, 이러한 환자에게 용수환기시 1992년도 미국 심장학회 지침에 의하면 800-1200ml의 일회 환기량과 분당 12-15회의 환기빈도를 사용할 것을 권장하고 있다³⁾.

용수환기에 의해 환자에게 공급되는 흡입 산소농도와 일회 환기량은 여러 요인에 의해 영향을 받는다. Bag-valve 용수환기기의 종류나 구조적 특성에 따라 다소의 차이가 있을 수 있지만 대부분의 경우 환자에게 공급되는 흡입 산소농도는 취입되는 산소유량이나 환기량에 저장량의 부착사용 여부 등과 같은 직접적으로 산소농도를 결정하는 요인들과 시술자에 의한 일회 환기량, 환기빈도, 흡-호기 대비 등의 환기방법에 따른 간접적인 요인들에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다⁴⁻¹⁴⁾. 양손을 이용한 용수환기시 산소농도를 결정하는 직접적인 요인을 통제된 상태에서 환기방법에 따른 흡입 산소농도의 변화는 흡-호기 대비를 일정하게 하였을 때 환기빈도나 시술자 손의 특성에 의한 일회 환기량 변화에 따라 결정될 수 있다. 이에 저자들은 저장량이 부착되지 않은 용수환기기에 취입 산소유량과 흡-호기대비를 일정하게 하여 사용하였을 때 환기빈도와 시술자 손의 크기와 악력에 따른 일회 환기량과 흡입 산소농도의 변화를 관찰하였고, 향후 응급의료와 관련된 의료 종사자의 용수환기에 관한 교육시 필요한 자료로 활용 하고자 그 결과를 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다.

II. 대상 및 방법

의과대학 4학년 임상실습 학생중 자원자 56명을 대상으로 용수환기의 필요성을 강조하고 용수환기기의 구조와 환기역학에 관해 교육한 후 남녀 구분 없이 각 시술자의 손의 특성을 측정하였다. 환기량을 쥐는 손의 크기는 한 손의 손바닥을 최대한 편 후 엄지손가락 끝에서 다섯 번째 손가락 끝까지의 직선거리를 측정하여 정하였고, 환기량을 쥐어짜는 손의 악력은 악력 측정계 (Hand Dynamometer, TEC)를 이용하여 자주 쓰는 쪽 손에서 3회 반복 측정한 후 평균을 산출하여 구하였다. 용수환기는 저장량이 부착되지 않은 성인용 용수환기 (Adult Resuscitator, Laerdal Medical)에 분당 10 l의 산소를 취입하면서 유순도가 0.1 l / cmH₂O인 실험폐 (Test Lung 190, Siemens)와의 연결부위에 폐활량 계측기 (Wright Spirometer, Haloscale)와 산소농도 계측기 (OM 831, DAMECA)를 연결하고 분당 10회, 12회, 15회의 정해진 환기빈도에서 매 환기 중 흡-호기 대비가 1:1이 되도록 조절하여 각각 2분씩 3회 반복 실시하여 흡입 산소농도와 일회 환기량 각각의 평균값을 구하였다.

결과는 흡입 산소농도와 일회 환기량의 변화에 대한 환기빈도의 영향을 비교 분석하였고, 손의 특성에 따른 흡입 산소농도와 일회 환기량 변화를 관찰하기 위하여 손의 크기와 악력을 각각의 중위 값으로 양분한 후 일반적으로 이용되는 분당 12회의 환기빈도에서의 결과를 비교하였다.

통계처리는 SPSS 통계 프로그램으로 환기 빈도의 변화에 따른 흡입산소농도와 일회 환기량의 비교는 ANOVA test를 이용하여 검정하였고, 손의 크기나 악력 등에 의한 흡입 산소농도와 일회 환기량의 비교는 Mann-Whitney U test, 손의 특성과 일회 환기량과의 관계는 Pearson correlation coefficient로 구하였다. 사용된 모든 통계적 검정에서 유의수준은 p값이 0.05 이하일 때 유의 있는 것으로 하였다.

III. 결과

전체 56명 대상자의 성별 분포는 남자가 33명으로 여자보다 많았다. 손의 크기는 평균 20.6 cm 이었고 중위값을 기준으로 양분하였을 때 손이 큰 군의 평균값은 21.7 cm, 작은 군의 평균값은 19.4 cm였으며 대상자중 모든 여자는 작은 군에 속하였다. 악력의 평균값은 36.9 kg force 였고 중위값을 기준으로 악력이 센 군과 약한 군은 각각 45.2와 28.6 kg force였으며 역시 모든 여자는 악력이 약한 군에 속하였다(표 1).

표 1. 인구학적 특성

Sex (male / female)	33 / 23
Age (year)	23.9 ± 0.8 (22 - 25)
Height (cm)	168.1 ± 7.9 (151 - 184)
Weight (kg)	59.4 ± 11.5 (40 - 90)
Hand size (cm)	20.6 ± 1.5 (16.8 - 23.7)
median	20.6
large (n=28)	21.7 ± 0.9
small (n=28)	19.4 ± 0.9
Grasp power (kg force)	36.9 ± 9.4 (20 - 55)
median	36.9
strong (n=28)	45.2 ± 3.7
weak (n=28)	28.6 ± 4.8

Data are mean ± SD (Range)

표 2. 환기빈도 변화에 따른 일회 환기량과 흡입 산소농도의 비교

Frequency (cycles/min)	Tidal volume (ml)	FiO2 (%)
10	917.9 ± 127.1	50.1 ± 10.4 *
12	914.3 ± 126.2	46.5 ± 8.9
15	910.0 ± 128.3	42.5 ± 5.7
p-value	ns	< 0.05

Data are mean ± SD

FiO2 : fractional concentration of delivered oxygen

* : significant difference in the ANOVA test

ns : no significance

1) 환기빈도에 따른 일회 환기량과 흡입 산소농도의 변화

분당 10 l 의 일정한 취입 산소유량과 1:1의 흡-호기 대비에서 환기빈도의 변화에 따른 일회 환기량은 분당 10회의 환기빈도에서 917 ml로 가장 높게 나타났으나 다른 환기빈도에서와 비교해서 일회 환기량의 차이에는 통계적 의의가 없었다. 그러나 흡입 산소농도는 분당 10회, 12회, 15회에서 각각 50.1%, 46.5%, 42.5%를 보여 분당 10회 일 때 다른 환기빈도와 비교해서 의의 있게 높았으며(표 2), 이상의 환기빈도 범위에서는 흡입 산소농도 = $-1.56 \times \text{호흡수} + 65.7$ 의 회귀식을 보여 흡입 산소농도와 환기빈도는 직접적인 관계가 있음을 알 수 있었다.

2) 손의 특성에 따른 일회 환기량과 흡입 산소농도의 변화와 관계

손의 특성에 있어 손의 크기와 악력은 0.68의 상관관계를 보여 상호간에 연관성은 있으나 아주 밀접한 관계를 가지지 않음을 알 수 있었다. 분당 12회의 환기빈도에서 손의 크기에 따른 일회 환기량의 변화는 손이 큰 군이 작은 군과 비교해 의의 있는 차이를 보였으나 (942 ml vs 885

표 3. 손의 특성에 따른 일회 환기량과 흡입 산소농도의 비교

Characteristics of the hand	Tidal volume (ml)	FiO2 (%)	Correlation * coefficient
Hand size			0.36 †
Small	885.6 ± 113.4	45.3 ± 5.7	
Large	942.3 ± 121.1 *	47.7 ± 5.1	
Grasp power			0.12
Weak	910.8 ± 119.8	46.8 ± 8.6	
Strong	917.2 ± 125.4	46.3 ± 9.1	

Data are mean ± SD

FiO2 : fractional concentration of delivered oxygen

* : correlation between tidal volume and hand size

† and * : p < 0.05

ml, $p < 0.05$) 악력에 있어 악력이 센 군과 약한 군과의 비교는 통계적 차이가 없었다 (917 ml vs 910 ml, $p > 0.05$). 일회 환기량 변화에 따른 흡입 산소농도는 손의 크기 (큰 군: 47.7%, 작은 군: 45.3%)와 악력 (센군: 46.3%, 약한 군: 46.7%) 각각에서 통계적 차이가 없었다. 또한 일회 환기량과 손의 크기나 악력과 상관정도는 각각 0.36과 0.12를 보여 일회 환기량에 대해서 악력보다는 손의 크기가 더 영향을 미치는 것으로 조사되었다(표 3).

IV. 고 찰

Bag-valve 용수환기기는 마스크, 후두 마스크 기도 유지기 (laryngeal mask airway), 또는 기관내 튜브나 기관절개 튜브 등에 연결하여 응급 소생술이나 인공호흡 의존 환자의 양압환기시 사용되는 장비로서¹⁻³⁾ 특히 병원 내외의 환경에서 응급 심폐소생술을 요하는 환자에게는 높은 흡입 산소농도로 충분한 일회 환기량을 공급하는 것이 동맥혈의 산소화와 적정의 환기유지에 필수적이기 때문에 Bag-Valve 용수환기기가 일차적으로 널리 사용된다¹⁵⁾.

잘 알려진 자가 재팽창 용수환기기로는 Air Bird, Ambu Mark III, Bag Easy, Code Blue, Laerdal Resuscitator, Pulmonator, Pulmanex 등 여러 종류의 것들이 있으며, 이들은 비 재호흡 방지를 위한 밸브의 형태, 산소 유입구의 위치와 저장낭의 형태, 환기낭의 재질 등에 따라 용수환기기로서의 형태적 특성이 결정되어지지만 환기기능에 있어서는 현저한 차이를 보이지는 않는다⁴⁻⁵⁾. 본 연구에서는 임상에서 널리 사용하는 자가 재팽창 용수환기기중 하나인 Laerdal Resuscitator를 시술자가 흔히 간과하고 부착하지 않는 저장낭이 미 부착된 상태로 기관내 삽관 튜브와 연결하여 사용하였다. Laerdal Resuscitator는 구조적으로 환기낭 뒤쪽에 산소나 대기가 유입되는 유입 밸브, 환기낭, 그리고 앞쪽에 오리 주둥이 모양의 밸브 (Duck-Bill)와 디스크가 내장되어 일방통행

역할을 하는 환자측 밸브 등 3 부분으로 구성되어 있다⁵⁾. 환기시 유입밸브는 환기낭의 내부에 압력이 영이거나 양압이 발생될 경우 단차게 되어 대기나 산소가 포함된 가스의 유입을 차단한다. 환자측 밸브는 오리 주둥이 모양의 밸브 (Duck-Bill)와 외부 디스크 막 (external disc membrane)이 있어 환자의 호기가 환기낭내로 유입되어 재 호흡되는 것을 막고 이로 인해 환기낭내의 산소농도가 희석되는 것을 방지하는 역할을 한다. 성인용 환기낭의 용적은 1600ml로서 임상에서 통상적으로 사용하는 분당 10 l에서 15 l의 취입 산소유량 만으로는 압축후 재 팽창할 때 환기낭을 채우기에 부족하여 실내공기가 환기낭내로 함께 유입되는 구조적 특성을 가지고 있다. 따라서 저장낭 부착시 환자에게 공급되는 흡입 산소농도는 유입된 대기에 희석되어 대개 30%에서 50%정도로 제한되어 있다¹⁻²⁾.

용수환기시 Saintsbury¹⁶⁾ 등은 흉곽이 최소한 상승한 뒤 하강하는 정도의 일회 환기량을 제공해야 한다고 하였고, 양와위 휴식 상태의 건강한 성인 남자에게는 최소 6 l의 분시 환기량이 필요하다고 하였으나, 1992년도 미국 심장학회 지침에 의하면 응급 소생술중 용수환기시에는 일회 환기량 800-1200ml와 환기빈도 분당 12-15회로 사용할 것을 권장하고 있다³⁾. 그러나 용수환기에 의해 환자에게 공급되는 흡입 산소농도와 일회 환기량은 여러 요인에 의해 영향을 받는다⁴⁻¹⁴⁾. Bag-valve 용수환기기의 종류나 구조적 특성에 따라 다소의 차이가 있지만 대부분의 경우 환자에게 공급되는 흡입 산소농도는 취입되는 산소유량이나 환기낭에 저장낭의 부착사용 여부와 같은 직접적으로 산소농도를 결정하는 요인들과 시술자에 의한 일회 환기량, 환기빈도, 흡-호기 대비 등의 환기방법에 따른 간접적인 요인들에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 양손을 이용한 용수환기시 산소농도를 결정하는 직접적인 요인을 통제한 상태에서 환기방법에 따른 흡입 산소농도의 변화는 흡-호기 대비를 일정하게 하였을 때 환기빈도나 시술자 손의 특성에 의한 일회 환기량에 따라 변화될 수 있다.

일반적으로 심폐소생술을 시행할 때 성인의 경우 심 압박의 횟수를 분당 80회의 속도로 하며 2인 구조자인 경우 심 압박과 인공호흡의 비를 5:1로 1인 구조자인 경우 15:2로 하므로 인공호흡 횟수는 분당 10 - 15회 내외가 된다^{1,3)}. 따라서 이러한 환기빈도 범위 내에서 용수환기시 환기빈도의 변화가 분시환기량과 흡입 산소농도의 변화를 가져올 수 있다. Mills⁶⁾ 등은 자발호흡 환자의 환기보조시 일정한 취입 산소유량에서 Laerdal Resuscitator는 분시 환기량이 증가하면 흡입 산소농도가 감소한다고 보고한 바 있다. 본 연구의 결과에서도 분당 10회, 12회, 15회의 환기빈도에서 일회 환기량에는 차이가 없이 환기빈도의 증가로 인한 분시 환기량이 증가함에 따라 흡입 산소농도가 감소하는 것을 관찰 할 수 있어 Mills⁶⁾ 등의 연구와 일치되는 소견을 보였으며, 또한 분당 10회의 환기빈도에서 다른 환기빈도와 비교해서 50.1% 로 가장 높은 흡입 산소농도를 나타냈다. 이러한 결과는 환기량의 재 팽창과 유입되어 들어오는 대기의 양과의 관계로 설명이 가능하다⁷⁾. 환기량의 구조적 특징상 흡입 산소농도는 환기량내의 산소농도와 같다. 환기량내의 산소농도는 산소 취입구를 통해 흘러 들어오는 산소의 양과 자가 재팽창시 유입밸브를 통해 함께 빨려 들어오는 대기의 양에 의해 결정된다. 또 유입밸브를 통해 빨려 들어오는 대기의 양은 자가 재 팽창 속도에 따라 변한다. 따라서 환기빈도가 작다는 것은 동일한 흡-호기 대비라 할 지라도 보다 빠른 환기빈도와 비교해서 호기 시간이 길어지므로 재 팽창을 서서히 시킬 수 있어 유입되어 들어오는 대기의 양이 줄어들게 되어 보다 높은 흡입 산소농도를 유지하는 것이라 사료된다.

환기빈도 조절 이외에 일회 환기량이나 흡입 산소농도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 것은 시술자의 신체적 특성으로 손의 크기^{8,11)}와 한 손이나 양손을 사용한 환기량의 압축방법⁸⁻¹⁰⁾ 등을 들 수 있다. 환기량의 압축방법으로 양손과 한 손을 사용하였을 때 그리고 남과 여의 성별에 따른 일회 환기량의 차이는 손의 크기와 관련이

있으며¹¹⁾, 기관내 삽관이 된 환자에서 양손과 한 손의 일회 환기량 차이는 250ml정도¹⁰⁾라고 보고되어져 있다. 본 연구에서는 기관내 삽관이 된 경우를 가정하여 양손을 사용한 용수환기 방법으로 성별의 차이를 두지 않고 일정한 환기빈도에서 손의 크기와 악력의 차에 의한 일회 환기량과 흡입 산소농도의 변화를 관찰하였다.

Thomas⁸⁾ 등은 마스크를 통한 용수환기에서 환기량을 쥐는 손의 크기에 의해 일회 환기량이 영향을 받는다고 하였다. 그의 결과에 의하면 손의 크기와 일회 환기량과의 상관관계는 2인 구조자의 경우 상관계수가 0.42 였고 1인 구조자의 표준방법 즉 한 손으로 마스크를 잡고 다른 한 손으로 환기량을 쥐는 방법에서는 0.64로 조사되어 1인 구조자의 표준방법에서 더 의의가 있었으나 일회 환기량이 평균 520ml로 미국 심장학회가 권장하는 일회 환기량보다는 적었던 반면 2인 구조자에 의한 방법이 기준치를 넘는 유일한 방법이라고 하였다. 본 연구에서도 손이 보다 큰 군에서 작은 군에 비해 약 60ml정도 일회 환기량이 의의 있게 많았다. 그러나 손이 작은 군에서도 미국 심장학회의 일회 환기량 최소 기준치 800ml 보다 높아 성인의 경우 양손을 이용한 환기시 권장되는 일회 환기량을 얻기위해 손의 크기를 고려해야만 할 의미가 없다고 생각되며, 또한 전체적으로 손의 크기와 일회 환기량 두 변수간의 상관정도가 0.36으로 통계적 유의수준 이내였다고 할지라도 그 상관정도가 낮아 일회 환기량에 있어 손의 크기는 밀접한 관계를 보이지 않는다고 할 수 있다. 손의 특성 중 손의 크기 이외에 시술자의 악력에 따른 일회 환기량 변화에서 힘센 시술자와 약한 시술자간의 차이는 볼 수 없었을 뿐아니라 상관정도도 0.12를 보여 악력이 일회 환기량에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 일정한 환기빈도와 흡-호기 대비에서 손의 특성에 의한 일회 환기량 변화와 그에 따른 흡입 산소농도 변화는 손의 크기에 의한 경우 비록 일회 환기량에 차이가 있어 단위시간에 환기량에 재충전되어야 하는 가스 량에 차이 발생하여 빨려 들어오는 대기량의 증감이 예상되어 지지만

실제 흡입 산소농도에 있어 통계적 차이는 발견할 수 없었다. 이는 일회 환기량이 일정한 범위에서는 흡입 산소농도에 영향을 미치지 않음을 시사하지만 그 범위에 관하여서는 추후 연구해볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 다음의 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 실제 환자에 적용된 경우가 아닌 실험 폐를 이용한 연구이었던 관계로 폐의 저항변화를 고려하지 않았다. 둘째, 용수환기기를 이용한 환기방법에서 기도확보를 위해 기관내 삽관된 경우만을 가정하여 시행되어 졌으므로 마스크를 이용한 환기방법과는 다소의 차이가 예상된다. 셋째, 용수환기시 일정한 취입산소유량, 저장낭이 미부착된 환기량의 사용, 환기시 1:1의 흡-호기 대비 등과 같이 변수들의 변화는 고려하지 않았다. 따라서 향후 실험폐가 아닌 실제 저항이 증가될 수 있는 폐나 기도의 병적 상태, 기관내 삽관이 시행될 수 없는 장소에서 마스크를 이용한 용수환기시, 환기방법에서의 변화 등을 고려한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

양손을 이용한 용수환기시 흡입 산소농도를 결정하는 직접적인 요인을 통제한 상태에서 환기방법에 따른 흡입 산소농도나 일회 환기량의 변화는 흡-호기 대비를 일정하게 하였을 때 환기빈도나 시술자 손의 특성에 따라 변화될 수 있다. 이에 저자들은 저장낭이 부착되지 않은 용수환기기에 취입 산소유량과 흡-호기대비를 일정하게 하여 사용하였을 때 환기빈도와 시술자 손의 크기와 악력에 따른 일회 환기량과 흡입산소농도의 변화를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전체 56명 대상자중 남자는 33명이었으며, 손의 크기는 평균 20.6 cm, 악력의 평균값은 36.9 kg force였고 대상자 중 모든 여자는 각각의 중위값을 기준으로 손이 작고 악력이 약한 군에 속하였다.

2) 분당 10회, 12회, 15회의 환기빈도에서 일회 환기량에는 차이가 없이 환기빈도의 증가로 인한 분시 환기량이 증가함에 따라 흡입 산소농도가 감소하였고, 흡입 산소농도는 분당 10회의 환기빈도에서 의의 있게 높았다.

3) 손의 크기에 따른 일회 환기량과 흡입 산소농도의 변화는 일회 환기량에서 손이 큰 군이 작은 군과 비교해 의의 있게 많았으나 흡입 산소농도에서는 차이가 없었고, 악력에 의한 경우 악력이 센 군과 약한 군간에는 모두 차이가 없었다. 또한 일회 환기량과 손의 크기나 악력과의 상관정도로 미루어 일회 환기량에 대해서 악력보다는 손의 크기가 더 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

따라서 기관내 삽관이 된 환자의 양손을 이용한 Bag-valve 용수환기시 성인 시술자의 경우 손의 크기나 악력은 고려해야 할 대상은 아니라고 사료되며, 단지 환기빈도를 허용범위내에서 가능한 한 줄이고 환기량의 호기시간을 늘임으로서 저장낭이 미 부착된 용수환기기를 사용할 때 보다 높은 농도의 흡입산소를 환자에게 제공할 수 있을 것이라 사료된다.

참고문헌

1. Safar P, Bircher NG : *Cardiopulmonary cerebral resuscitation*. 3rd ed. p82-85, Philadelphia, WB Saunders, 1988.
2. Ayres SM, Grenvik A, Holbrook PR, Shoemaker WC : *Textbook of critical care : Shoemaker WC, Holbrook PR : Resuscitation*. 3rd ed. p16-38, Philadelphia, WB Saunders, 1995.
3. Standards and guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiac care, *JAMA* 268; 2171-2198, 1992.
4. Carden E, Friedman D : *Further studies of manually operated self-inflating resuscitation bags*, *Anesth Analg* 56; 202-207, 1977.
5. Kissoon N, Nykanen D, Tiffin N, Frewen T, Brasher

- P : *Evaluation of performance characteristics of disposable bag-valve resuscitators, Crit Care Med 19;102-107, 1991.*
6. Mills PJ, Baptiste J, Preston J, Barnas GM : *Manual resuscitators and spontaneous ventilation - An evaluation, Crit Care Med 19;1425-1431, 1991.*
 7. Priano LL, Ham J : *A simple method to increase the FDO₂ of resuscitator bags, Crit Care Med 6;48-49, 1978.*
 8. Thomas AN, Dang PT, Hyatt J, Trinh TN : *A new technique for two-hand bag valve mask ventilation, Br J Anaesth 69;397-398, 1992.*
 9. Jesdian MCS, Harison RR, Keenan RL, Maull KI : *Bag-valve-mask ventilation: Two rescuers are better than one; preliminary report, Crit Care Med 13;122-123, 1985.*
 10. Hess D, Goff G : *The effects of two-hand versus one-hand ventilation on volumes delivered during bag-valve ventilation at various resistances and compliances, Resp Care 32;1025-1028, 1987.*
 11. Law GD : *Effects of hand size on VE, Vt, and FIO₂ during manual ventilation, Resp Care 27;1236-1238, 1982.*
 12. Barnes TA, Watson ME : *Oxygen delivery performance of four adult resuscitation bags, Resp Care 27;138-146, 1982.*
 13. Barnes TA, Watson ME : *Oxygen delivery performance of old and new designs of the Laerdal, Vitalograph, and AMBU adult manual resuscitators, Resp Care 28;1121-1128, 1983.*
 14. Dorsch JA : *Understanding anesthesia equipment. 3rd ed. p225-238, Williams and Wilkins, 1994.*
 15. Joseph PO, Betty LB, Patrick JD, Robert RF, Colleen JR : *Measurement of ventilation during cardiopulmonary resuscitation, Crit Care Med 11;79-81, 1983.*
 16. Saintsbury DA, Davis R, Walker MC : *Artificial ventilation for cardiopulmonary resuscitation, Med J Aust(abstract) 141;509-511, 1984.*