

인공 환기가 필요한 환자에서 변형된 수동식 인공호흡기(Ambu[®])의 유용성

고려대학교 의과대학 소아과학교실

하기수 · 문일홍 · 이희선 · 신동한 · 은소희 · 은백린 · 홍영숙 · 이주원

Usefulness of modified ambu[®] in patients who need artificial ventilation

Kee Soo Ha, M.D., Il Hong Moon, M.D., Hee Sun Lee, M.D., Dong Han Shin, M.D.
So Hee Eun, M.D., Baik-Lin Eun, M.D., Young Sook Hong, M.D. and Joo Won Lee, M.D.

Department of Pediatrics, College of Medicine Korea University, Seoul, Korea

Purpose : The comatose mentality can be catastrophic, especially if the condition is severe or the duration is prolonged. Therefore, delayed diagnosis can result in a poor outcome or death. The best radiologic modality to differentiate from cerebral lesions in patients suffering from cerebral diseases is magnetic resonance imaging (MRI) rather than computed tomography (CT). Special apparatuses with metal materials such as ventilators, and cardiac pacemakers belonging to patients cannot be located in the magnetic field. We aimed to exhibit the possibility of examining MRI, maintaining ventilation at a relative long distance by means of modified Ambu[®].

Methods : Self-inflating bags as a sort of a manual ventilator, connected with relatively long extension tubes instead of mechanical ventilators, were adopted to obtain MRI. PVC (polyvinyl chloride) extension tubes had different lengths and diameters. Lengths were 1, 2, and 3 cm and diameters were 15, and 25 mm. The work of breathing and expiratory changes of expiratory tidal volume (T_{Ve}), minute volume of expiration (M_{Ve}), peak inspiratory pressure (PIP) were measured by use of the mechanical ventilator, Servo[®], as the alteration of T_{Vi} (inspiratory tidal volume), extension tube lengths and diameters with other values fixed.

Results : Measured T_{Ve} and M_{Ve} by ventilator were the same values with control at every T_{Vi}, regardless of extension tube lengths and diameters, but PIP were increased with the rise of T_{Vi}, tube lengths, with decline of tube diameters, these were statistically significant.

Conclusion : MRI examination can be carried out with a self-inflating bag connected with an extension tube at a long distance in patients who need artificial ventilation.

(Korean J Pediatr 2006;49:1194-1201)

Key Words : Magnetic resonance imaging, Ventilation, Tidal volume

서 론

기면이나 혼수는 대사장애, 영양결핍, 감염, 가사, 외상, 뇌종양 등의 원인에 의해 발생한다. 혼수 환자는 원인에 상관없이 혼수상태가 오래 지속 되었을 경우 회복불능의 상태로 될 수 있기 때문에 신속하게 원인을 발견하고 치료하는 것이 중요하다¹⁾.

그러나 자발호흡이 없이 기계적인 인공호흡기에 의존하는 환자는 이동의 제한 등으로 적절한 진단적 검사를 시행하는데 어려움이 있다. 특히 의식이 명료하지 않은 환자들에게 진단적 목적으로 특정 검사를 시행하는 것은 그 자체로 생명을 위협하는 상황이 초래될 수 있다. 그 이유로는 첫째, 절대 안정이 필요한 환자들에게 약물 주입이나 자세 변화 등의 외부적인 스트레스를 가할 경우 환자의 활력징후를 불안정하게 할 수 있고²⁾, 둘째로 비록 의료 장비의 발달로 환자의 침상에서 직접 시행할 수 있는 이동식 장비가 많아지고 있지만 종류나 질적인 면에서 제한적이기 때문에 환자의 생명을 유지시켜주거나 감시해주는 장치를 일시적으로 중단하고 환자를 다른 곳으로 이송하여 검사할 경우

접수 : 2006년 8월 16일, 승인 : 2006년 9월 11일
책임저자 : 은백린, 고려대학교 의과대학 구로병원 소아과학교실
Correspondence : Baik-Lin Eun, M.D.
Tel : 02)818-6128 Fax : 02)858-9396
E-mail : bleun@chollian.net

위험에 노출될 수 있기 때문이다. 또한 이러한 위험을 무릅 쓰고 환자를 이송한다 할지라도 의료 기기들에 따라 반드시 구비해야 할 요건으로 인해 검사가 힘든 경우가 많아 혼수 환자의 질환을 진단하는 데는 여러 가지 제약이 있다. 대표적인 예가 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI) 검사로 금속성 물질을 환자 근처에 장치할 수 없다.

뇌병변의 형태와 기능을 평가할 수 있는 영상 기법들로는 컴퓨터 단층촬영(computed tomography, CT), 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI), 양전자 단층촬영(positron emission tomography, PET), 단광자 방사선 단층촬영(single photon emission computed tomography, SPECT) 등이 있고 각 검사마다 장단점이 있다. 컴퓨터 단층촬영은 짧은 시간 내에 응급으로 시행할 수 있고 두경부 외상이나 출혈, 뇌석회화 병변을 잘 평가할 수 있는 장점이 있으나 병변의 유무 차원을 넘어선 정교한 해부학적인 구조를 평가하는 데는 한계가 있으며, SPECT³⁾나 PET⁴⁾는 기능적인 측면을 강조한 영상이다. 그러므로 이러한 중추신경계질환의 원인을 감별하기 위해서는 더 세밀한 해부학적 구조 및 기능의 평가가 가능하고 다양한 각도와 음영을 이용하여 영상을 얻을 수 있는 MRI 검사가 다른 검사보다 많은 정보를 제공해 줄 수 있다^{5,6)}. MRI 검사는 그 특성상 자기장 혹은 금속성 장치가 환자의 몸에 부착되어 있을 경우 검사가 불가능하고, 기계를 이동하여 검사를 할 수 없으며 소아의 경우 진정시켜야 한다는 단점이 있으나 방사선 노출이 없고 비침습적이며, 상세한 구조의 영상까지 얻을 수 있는 장점이 있다.

현재까지는 자발호흡이 없는 환자에게 MRI 검사가 필요한 경우라도 이러한 여러 가지 제한점으로 인해 검사가 거의 불가능했다. 그러나 MRI 검사 시에 자기장 영역 내 기계식 인공호흡기 대신 수동식 인공호흡기를 이용하고, 환자가 원통 속에서 검사가 이루어짐을 감안해 일정한 거리에서 환기를 시킬 수 있다면 검사를 쉽게 시행할 수 있을 것이다. 이에 저자들은 수동식 인공호흡기(Ambu[®])를 약간 변형하여 일정 거리에서 환자에게 전달되는 환기량을 유지하면서 MRI 검사가 가능한지를 알아보고자 본 연구를 실시하였다.

대상 및 방법

자발호흡이 없는 상태에서 MRI 검사를 시행할 경우, 환자의 머리 부분이 MRI 기계의 원통 속에 들어가야 하기 때문에 전통적인 수동식 인공호흡기(Ambu[®])를 사용하기에는 어려움이 있다. 일정한 거리에서 환자에게 전달되는 환기량을 유지하기 위해 고안된 장치는 수동식 인공호흡기를 약간 변형하였으며 그 연결 부위에 PVC(polyvinyl chloride) 관을 삽입하여 만든 비교적 간단한 장치이다(Fig. 1). 수동식 인공호흡기는 self-inflating bag type(Fig. 2)으로 심폐소생술(resuscitation) 시에 가장 흔하게 사용되는 기구이며 구조적인 특징을 이해하고(Fig. 3) 이를 약간 변형시켜 고안하였다. 즉 수동식 인공호흡기의 valve 부위와 bag

부위를 분리하여 그 사이에 PVC 연결 관을 삽입하여 거리를 확보할 수 있게 하였다(Fig. 1). PVC 관은 통상적인 기계식 인공호흡기의 부품으로 중환자실에서 손쉽게 구할 수 있다. 또한 안정성을 확인하기 위하여 PVC 연결 관의 길이와 직경 및 일회호흡량(tidal volume)을 변화시켰을 경우 환기에 미치는 영향을

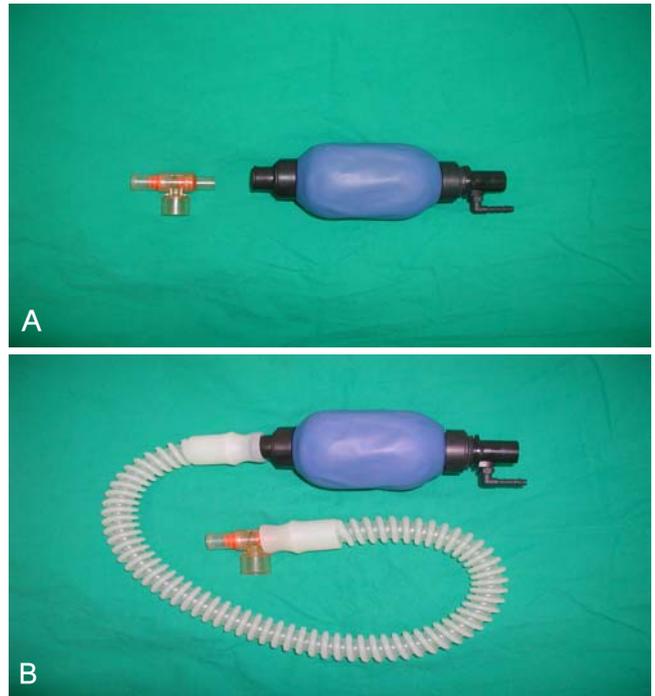


Fig. 1. The site between the valve and bag of the self-inflating bag can be separated(A) and connected with the extension tube(B).

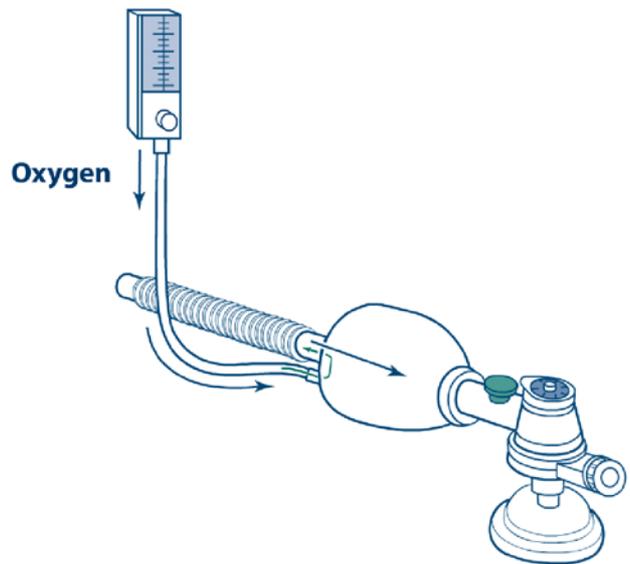


Fig. 2. Self-inflating bag remains inflated without gas flow and without having the mask sealed on the face.

알아보았다.

우선 PVC 연결 관의 길이와 직경에 따라 환기에 어떠한 영향을 미치는지 대해 알아보았다. 원칙적으로는 고안된 장치를 그대로 이용하여 환기량을 측정하여야 하지만 현실적으로 환기량 측정이 불가능하여, 수동식 인공호흡기 대신 기계식 인공호흡기를 이용하여 PVC 연결 관의 변화에 따른 환기량의 변화를 측정하였다. 즉 PVC 연결 관을 기계식 인공호흡기에 연결하고 그 끝을 test lung bag으로 연결하였다. 기계식 인공호흡기 기종은 Servoi[®](Maquet, Solna, Stockholm, Sweden)를 이용하였다. Test lung bag은 기계식 인공호흡기의 모든 수치들을 환자의 상태에 맞게 조절한 후 기계를 환자에게 직접 연결하기 전에 모든 작동이 제대로 이루어지는지 확인하는데 이용되며, 압력변화에 따라 팽창과 수축이 이루어지는 일정 범위의 부피를 갖는 주머니로서 생리학적으로 자발호흡이 없는 폐와 같은 역할을 한다. 기계식 인공호흡기의 흡기성 일회호흡량(inspiratory tidal volume, TVi)을 변화시키고 동시에 PVC 연결 관의 길이와 직경을 함께 변화시킴으로써 기계식 인공호흡기가 필요로 하는 호흡일(work of breathing)과 호기변화(expiratory change)를 측정하였다. 기계식 인공호흡기에서 측정 혹은 조절할 수 있는 수치에는 일회호흡량(tidal volume, TV), 흡기성 일회호흡량(inspiratory tidal volume, TVi), 호기성 일회호흡량(expiratory tidal volume, TVe), 호흡수(respiratory rate, RR), 호기성 분당환기량(minute volume of expiration, MVe), 최대흡기압(peak inspiratory pressure, PIP), 호기말양압(positive end-expiratory pressure, PEEP) 등이 있다.

TVi를 30, 75, 150 mL로 변화시킬 때 기계식 인공호흡기에

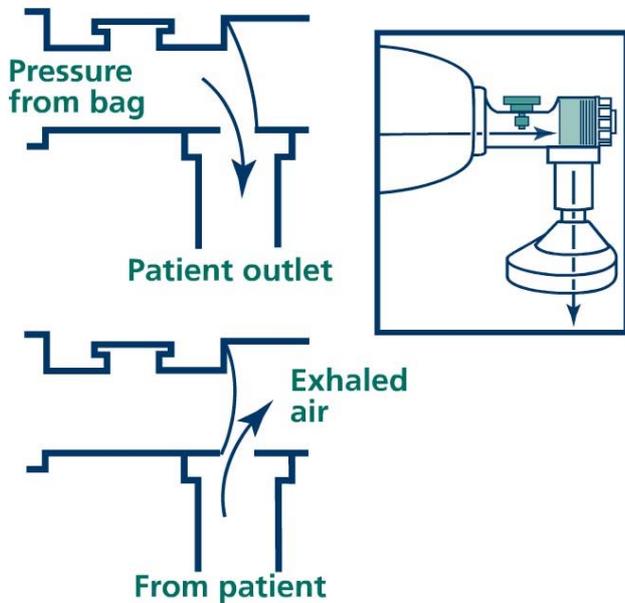


Fig. 3. The principle of valve assembly of a self-inflating bag.

서 TVe, MVe, PIP 값을 측정하였다. 각 TVi 값들이 갖는 의미는 4, 10, 20 kg 환자의 일회호흡량을 7.5 mL/kg로 계산한 값이다. RR은 30 /min, PEEP=4, FiO₂(fractional concentration of inspired oxygen)=0.4, I/E ratio(inspiration/expiration time)=1:2로 값을 고정하였고 그 외에 다른 모든 수치들도 일정한 값으로 유지하였다. PVC 연결 관의 길이는 1, 2, 3 m로, 직경은 15 mm, 25 mm로 변화시킴에 따른 TVe, MVe, PIP 값의 변화를 측정하였다.

대조군은 PVC 연결 관을 삽입하지 않은 채 인공호흡기 원래의 관의 길이에 test lung bag을 연결하고 TVi 값을 30, 75, 150 mL로 변화시킬 때 측정되는 각각의 TVe, MVe, PIP 값의 결과를 대조군으로 삼았다.

각 TVi에서 PVC 연결 관의 길이를 1, 2, 3 m로 변화시키면서 동시에 직경을 15 mm, 25 mm로 변화시킬 때 각각 측정된 수치들을 대조군의 TVe, MVe, PIP과 비교해, 차이가 있는지를 확인하기 위해 Kruskal Wallis test(비모수) 통계법을 이용하였고, 비교 대상군 사이에 차이가 있을 경우 사후분석으로 Tukey Honesty Significant Difference test를 이용하였으며 $P < 0.05$ 일 때 통계학적으로 의미가 있다고 판정하였다. 통계프로그램은 SigmaStat[®](version 2.0)을 이용하였다.

또한 자발호흡이 없이 기계식 인공호흡기 치료를 받고 있었던 총 5명의 환자들을 대상으로 변형된 수동식 인공호흡기를 이용하여 MRI 검사를 시행하였다(Table 1).

결 과

TVi가 각각 30, 75, 150 mL인 상태에서 25 mm 직경의 PVC 연결 관의 길이를 1, 2, 3 m로 증가시킴에 따라 얻어진 TVe, MVe, PIP 값을 대조군과 비교하였다(Table 2). 그 결과 모든 군에서 TVe, MVe는 대조군과 비교해서 차이가 없었고, PIP 값은 TVi이 30 mL 일 때는 관의 길이에 관계없이 동일하였으나 TVi가 75, 150 mL일 때는 대조군과 비교하여 각각 의미 있는 차이를 보였다($P < 0.05$). 이 때 PVC 연결 관의 길이에 따라 PIP 값은 증가하여 각각의 r값은 0.949, 0.925였다(Fig. 4A). 또한 PVC 연결 관의 길이가 1, 2, 3 m 일 때 각각의 PIP 값은 TVi 값과 양의 상관관계를 보였으며 이 때 r값은 각각 0.961, 0.978, 0.987이었다(Fig. 4B).

Table 1. Five Cases Who were Comatose Patients and Adopted the Self-Inflating Bag Connected with PVC Tubes

Age (years)	Gender	Diagnosis
6	Female	Brain stem encephalitis
6	Male	Meningoencephalitis
13	Female	Encephalitis, Status epilepticus
39	Female	Cerebral infarction, Post-partum hemorrhage
62	Male	Cerebral infarction

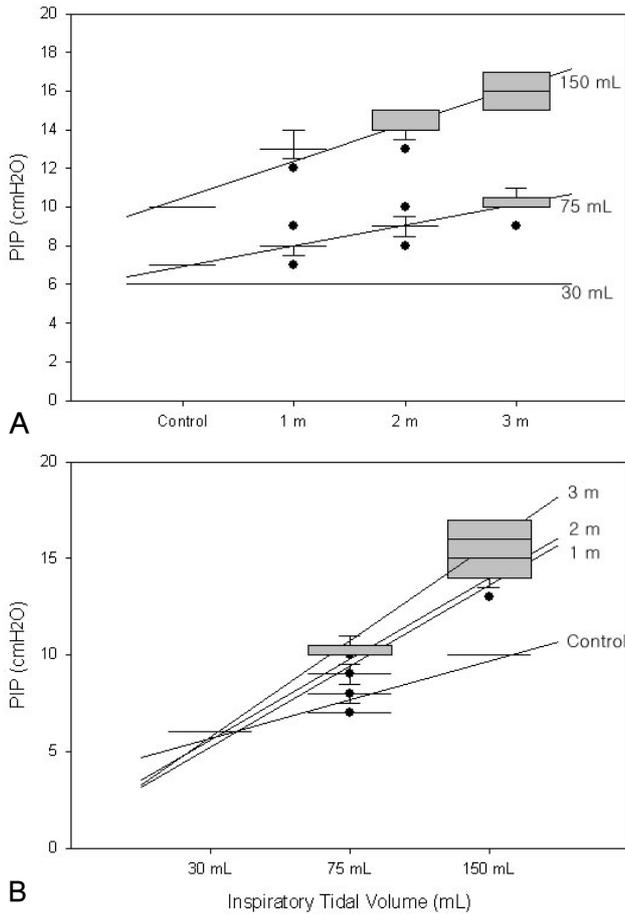


Fig. 4. The changes of PIP according to PVC tube lengths in 25 mm diameters of tube at each inspiratory tidal volume (TVi) and linear correlation between PIP and tube lengths($r=0.949, 0.925$ at TVi 75, 150 mL respectively)(A). The changes of PIP according to inspiratory tidal volume(TVi) in 25 mm diameters of tube at each PVC tube lengths and linear correlation between PIP and inspiratory tidal volume(TVi)($r=0.961, 0.978, 0.987$ respectively at PVC tube lengths 1, 2, 3 m)(B).

같은 방법으로 15 mm 직경의 PVC 연결 관을 이용하여 TVi가 각각 30, 75, 150 mL인 상태에서 그 길이를 1, 2, 3 m로 증가시키기에 따라 얻어진 TVe, MVe, PIP 값을 대조군과 비교하였다(Table 3). 그 결과 25 mm의 검사결과와 같이 모든 군에서 TVe, MVe는 대조군과 비교해서 차이가 없었고, PIP 값은 TVi가 30, 75, 150 mL 일 때 대조군과 비교하여 각각 의미 있는 차이를 보였다($P<0.05$). 이 때 PVC 연결 관의 길이에 따라 PIP 값은 증가하였고 각각의 r 값은 0.849, 0.949, 0.887이었다(Fig. 5A). 또한 PVC 연결 관의 길이가 1, 2, 3m 일 때 각각의 PIP 값은 TVi 값과 양의 상관관계를 보였으며 이 때 r 값은 각각 0.975, 0.986, 0.971이었다(Fig. 5B). 또한 table 2와 table 3 혹은 Fig. 4와 Fig. 5의 검사결과를 비교해 볼 때 관의 길이나 TVi에 관계없이 PIP 값은 PVC 연결 관의 직경과 음의 상관관계($r=-0.990, r=-0.983, r=-0.993$)였다. 즉 PVC 연결 관의 직경

Table 2. Changes of MVe, TVe, PIP according to TVi and PVC Tube Lengths at the Larger Diameter, 25 mm. The Each Inspiratory Tidal Volume(TVi) was 30(A), 75(B), 150 mL(C) at Respiratory Rate 30/min

A.					
Tube Lengths(m)	Control	1	2	3	P value
TVi(mL)	30	30	30	30	NS
TVe(mL)	30.0±0.0	29.8±0.6	29.7±0.5	29.8±0.5	NS
MVe(L)	0.9±0.0	0.9±0.1	0.9±0.0	0.9±0.0	NS
PIP(cmH ₂ O)	6.0±0.0	6.0±0.0	6.0±0.0	6.0±0.0	NS
B.					
Tube Lengths(m)	Control	1	2	3	P value
TVi(mL)	75	75	75	75	NS
TVe(mL)	75.0±0.0	74.8±0.5	74.8±0.5	74.7±0.5	NS
MVe(L)	2.3±0.0	2.3±0.1	2.3±0.1	2.3±0.1	NS
PIP(cmH ₂ O)	7.0±0.0	7.8±0.4	7.8±0.4	8.3±0.5	<0.05
C.					
Tube Lengths(m)	Control	1	2	3	P value
TVi(mL)	150	150	150	150	NS
TVe(mL)	150.0±0.0	149.6±0.7	149.7±0.6	149.6±0.5	NS
MVe(L)	4.5±0.0	4.5±0.1	4.5±0.1	4.5±0.1	NS
PIP(cmH ₂ O)	10.0±0.0	12.9±0.7	14.2±0.7	15.7±0.9	<0.05

Abbreviations : MVe, Expiratory Minute Volume; TVi, Inspiratory tidal volume; TVe, Expiratory tidal volume; PIP, Peak inspiratory pressure; NS, not significant

이 작을수록, 관의 길이가 길어질수록, 일회호흡량이 증가할수록, 환기량을 유지하기 위한 PIP값은 증가하였다.

이러한 실험 결과를 근거로 현재까지 5명의 환자들을 대상(Table 1)으로 MRI 검사를 시행한 결과, 검사 중에 환기의 이상 징후가 발견되지 않았고 모든 환자에서 성공적으로 검사를 마쳤으며(Fig. 6), 검사 직후 시행한 동맥혈가스분석(arterial blood gas analysis)에서도 특이소견을 보이지 않았다.

고 찰

본 실험 결과를 토대로 내릴 수 있는 결론은 관의 길이가 길더라도 PIP를 증가시킨다면 환자에게 적절한 환기량을 유지할 수 있다는 사실이다. 관의 길이가 길거나 직경이 크면 사강(dead space)이 증가하지만 그에 대한 보상으로 환기량을 증가시키면 환자에게 필요한 환기가 가능하다. 분당 환기량은 다음의 식으로 얻을 수 있다.

$$\text{분당 환기량(L/min)} = \text{일회호흡량(L)} \times \text{호흡수(times/min)}$$

이 수식에서 보듯이 일회호흡량이나 호흡수를 증가시켜 전체적인 환기량이 증가되면 사강에 의한 호흡 손실을 보상할 수 있

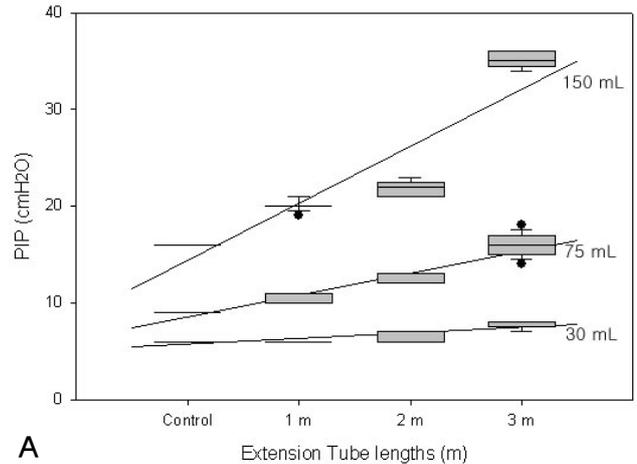
Table 3. Changes of MVE, TVE, PIP according to TVi and PVC Tube Lengths at the Smaller Diameter, 15 mm. The Each Inspiratory Tidal Volume(TVi) was 30(A), 75(B), 150 mL(C) at Respiratory Rate 30/min

A.					
Tube Lengths(m)	Control	1	2	3	P value
TVi(mL)	30	30	30	30	NS
TVe(mL)	30.0±0.0	29.8±0.4	29.6±1.2	29.8±0.5	NS
MVe(L)	0.9±0.0	0.9±0.1	0.9±0.1	0.9±0.1	NS
PIP(cmH ₂ O)	6.0±0.0	6.0±0.0	6.2±0.4	7.8±0.5	<0.05
B.					
Tube Lengths(m)	Control	1	2	3	P value
TVi(mL)	75	75	75	75	NS
TVe(mL)	75.0±0.0	74.8±0.6	74.8±0.4	74.8±0.4	NS
MVe(L)	2.3±0.0	2.3±0.1	2.3±0.5	2.3±0.0	NS
PIP(cmH ₂ O)	9.0±0.0	10.4±0.5	11.4±0.5	15.9±1.2	<0.05
C.					
Tube Lengths(m)	Control	1	2	3	P value
TVi(mL)	150	150	150	150	NS
TVe(mL)	150.0±0.0	149.7±0.7	149.8±0.5	149.8±0.5	NS
MVe(L)	4.5±0.0	4.5±0.1	4.5±0.0	4.5±0.0	NS
PIP(cmH ₂ O)	16.0±0.0	18.9±0.9	22.0±0.8	35.1±0.8	<0.05

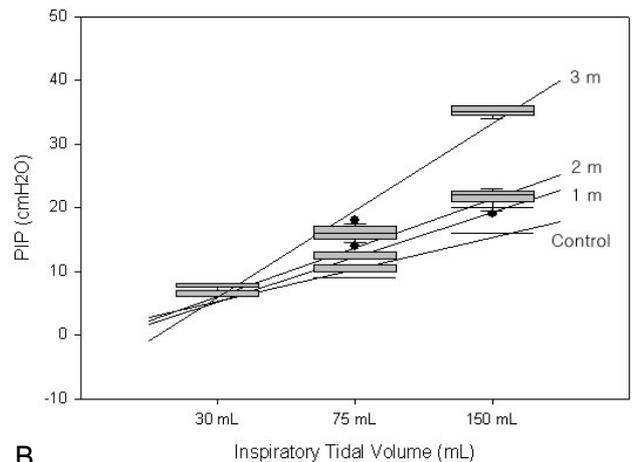
Abbreviations : MVE, Expiratory Minute Volume; TVi, Inspiratory tidal volume; TVe, Expiratory tidal volume; PIP, Peak inspiratory pressure; NS, not significant

다^{7, 8)}. 사강이란 정상 환기시 폐포의 가스 교환에 직접 참여하지 않은 부분을 뜻하며 건강한 사람에서 사강과 호흡용적의 비는 0.33-0.45이며, 그 비가 증가되었을 경우 과탄산혈증을 일으키므로 이때는 환기량을 증가시켜야 한다. 만일 이산화탄소 생산이 증가되어 사강과 호흡 용적의 비가 0.6 이상이면 성공적인 호흡기 이탈이 어려운데 그 이유는 사강이 증가된 환자들은 폐유순도가 감소되어 있고 기도 저항이 증가되어 있어 호흡일이 커져 있기 때문이다^{9, 10)}. 그러므로 가능한 범위 내에서 관의 길이를 짧게 하고 적절한 직경의 관을 선택하여 사강을 줄이는 것이 중요하다.

또한 이러한 실험 결과는 가스유량에 대한 기도 저항의 법칙에도 근거한다. 기도 저항에 영향을 줄 수 있는 요인으로는 관의 직경, 길이, 기관지 분지수 등이 있다^{11, 12)}. 기관지 분지수는 실험대상이 아니기 때문에 제외하고 나머지 직경과 길이에 대해 고찰해 보면 다음과 같다. 작은 직경의 관일수록 기도내 와류(turbulent flow)가 발생하여 기도저항이 증가하게 되고 그로 인해 호흡에 필요한 압력(PIP)이 증가하게 된다. 또한 관의 길이가 길어지거나 일회호흡량(TV)이 커질수록 호흡일(work of breathing)이 증가되어 상대적 기도저항과 압력이 증가한다.



A



B

Fig. 5. The changes of PIP according to PVC tube lengths in 15 mm diameters of tube at each inspiratory tidal volume(TVi) and linear correlation between PIP and tube lengths($r=0.849, 0.949, 0.887$ at TVi 30, 75, 150 mL respectively)(A). The changes of PIP according to inspiratory tidal volume(TVi) in 15 mm diameters of tube at each PVC tube lengths and linear correlation between PIP and inspiratory tidal volume(TVi)($r=0.975, 0.986, 0.971$ at PVC tube lengths 1, 2, 3 m respectively)(B).

또한 호흡일은 다음과 같은 수식으로 얻을 수 있다.

$$\text{호흡일(work of breathing)} = \text{압력[pressure(force)]} \times \text{환기량(volume)}$$

이 식에서 보듯이, 같은 정도의 호흡일이 필요할 때 환자에게 압력손상의 우려가 있어 압력을 일정 수준 이상으로 올릴 수 없을 때, 호흡수를 증가시켜 보살할 수 있다^{13, 14)}. 저자들이 고안한 방법은 valve가 PVC 연결 관의 뒤쪽에 위치하므로 연결 관은 단순히 bag의 reservoir 역할만 하므로 PIP의 변화만을 고려하면 될 것이다.

현재 심폐소생술에 사용되는 수동식 인공호흡기는 흔히 상품명으로 Ambu®(air mask bag unit)이라고도 하며 작동원리에 따라 3가지 종류가 있다¹⁵⁻¹⁷⁾.

첫 번째 종류로는 self-inflating bag type으로 분만실과 중환자실에서 소생술에 흔히 사용되는 형태이다(Fig. 2). 이것은



Fig. 6. Clinical application of the self-inflating bag connected with a long PVC tube to a child, 6 years old, male, meningococcal meningitis. MRI examination was carried out at this setting successfully.

주머니(bag)를 압착(squeezing)한 후에 저절로 재팽창 하기 때문에 사용하기에 편리하며 가스의 공급이 없이도 사용이 가능하며 마스크가 환자의 안면부에 밀착되지 않아도 작동이 되며 또한 pressure-release valve가 있어 폐가 과팽창되는 것을 막을 수 있다는 장점이 있다. 하지만 마스크를 통해 산소를 직접 공급할 수 없고 CPAP(continuous positive airway pressure)이나 PEEP(positive end expiratory pressure)을 줄 수 없다는 단점이 있다¹⁸⁾. Self-inflating bag type의 수동식 인공호흡기 valve는 bag과 환자의 흡입구 사이에 위치하여 주머니를 압착(흡기)할 때 열리고 주머니가 재팽창(호기)할 때 닫히므로 가스가 일방 통행할 수 있도록 하는 one way valve이다(Fig. 3). 이러한 valve의 작동 원리도 인해 환자의 호기가스(expiratory gas)가 다시 bag으로 들어가 재환기되는 것을 막는다.

두 번째 종류로는 flow inflating bag type의 수동식 인공호흡기이다(Fig. 7). 이것은 가스 공급원에 따라 21-100% 걸쳐 다양한 범위의 산소를 공급할 수 있으나, 얼굴과 마스크를 단단히 밀착시켜야 하고 항상 가스공급원이 있어야 사용 가능하며 압력을 조절할 수 있는 valve가 없다는 단점이 있다¹⁹⁾.

세 번째 종류로는 T-piece resuscitator type의 수동식 인공호흡기(Fig. 8)로 이것은 지속적인 압력을 가할 수 있기 때문에 PIP와 PEEP을 조절할 수 있는 장점이 있으나 손으로 압착할 수 없기 때문에 폐유순도를 직접 느낄 수 없어 폐손상을 일으킬 수 있는 단점이 있다²⁰⁾.

결과적으로 자발 호흡이 없는 혼수 환자에게 MRI 검사를 안전하게 시행하기 위해서 선택할 수 있는 수동식 인공호흡기는 self-inflating bag type으로 이것은 압력 초과를 제어할 수 있고 주머니의 재팽창이 용의하며 가스 공급원이 없이도 사용이 가능하다.

다른 한편으로, 수동식 인공호흡기를 최대 일회 호흡용적

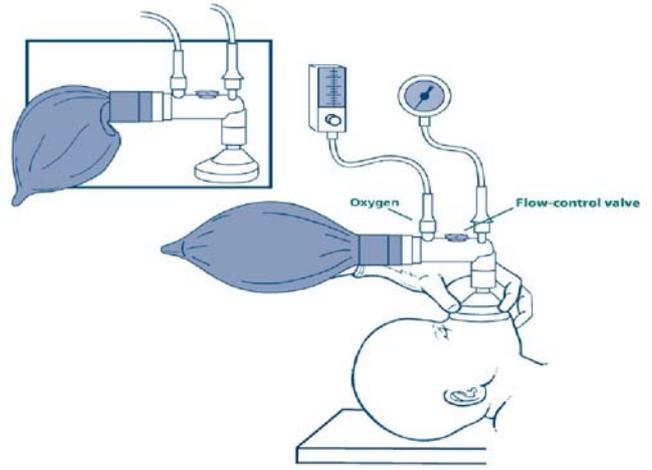


Fig. 7. Flow-inflating bag inflates only with a compressed gas source and with mask sealed on face; otherwise, the bag remains deflated.

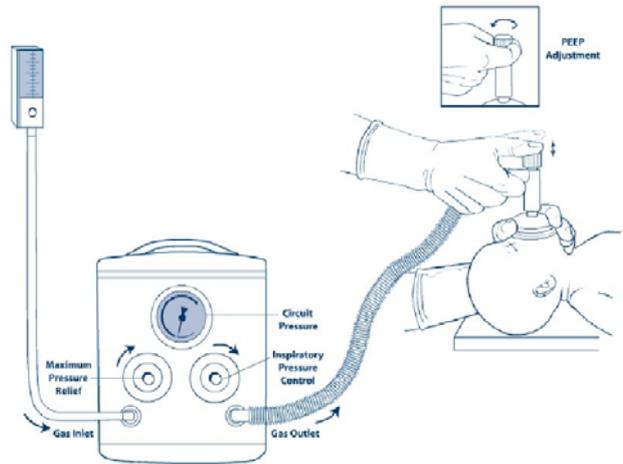


Fig. 8. T-piece resuscitator. Pressure are pre-set by adjusting controls on the device and are delivered by occluding or releasing an opening behind the mask.

(maximal tidal volume)에 따라 분류할 수도 있는데 최대 일회 호흡용적이 1,500 mL인 경우 성인에서, 용적이 450 mL인 경우 몸무게가 20-30 kg 사이의 유아들에게, 용적이 300 mL인 경우는 몸무게가 5-20 kg 사이의 영아들에게, 용적이 150 mL인 경우는 몸무게가 5 kg 미만의 영아 및 신생아들에게 사용이 가능하다. 하지만 환자들의 폐용적은 나이, 몸무게, 폐표면적에 따라 다양하므로 적절한 환기를 위해서는 환자의 일회호흡량(tidal volume=5-8 mL/kg)을 계산한 후 수동식 인공호흡기의 최대 일회 호흡용적과 비교하여 적절한 크기를 선택한 하여야 하며 실제 환자에게 인공 환기를 시행할 경우 환자의 현재 상태를 고려해 적절히 압착량을 조절하여야 한다. 하지만 수동으로 압착할 경우 횡수나 양에 정확성을 기여하는데 한계가 있어 이런 점에 주의 를 기울여야 한다.

저자들이 고안한 장비의 두 번째 부분인 PVC 연결 관은 그 직경이 더 큰 것을 사용하는 것이 좋겠다. 이는 관의 직경이 크면 기도 저항이 작아져 층류(laminar flow)가 잘 생성되어 효과적인 환기가 일어날 수 있기 때문이다. 층류는 와류(turbulent flow)에 반대되는 개념으로 실질적인 세포 단계에서 효과적인 환기가 이루어지기 위해서는 많은 양의 층류가 폐포에 도달하여야 한다. 와류가 아닌 층류가 생성되면 기도저항은 관의 길이에 비례하고 관의 반경의 4제곱에 반비례한다²¹⁾. 결과적으로 적절한 환기를 위해서 관의 길이, 직경, 유속, 압력 및 사강 등을 동시에 고려하여야 한다.

지금까지 기계식 인공호흡기를 이용하여 관이 환기에 미치는 영향에 대해 알아보았으나 실제로 MRI 검사를 시행할 때, 기계가 아닌 수동으로 압착해야 하므로 환기에 의한 효과가 같다고 할 수 없을 것이다. 수동식 인공호흡기는 말 그대로 사람의 힘으로 환기를 직접 행하기 때문에 시행하는 개인에 따라 환기량의 인위적인 편차를 유발할 수 있다. 환기량은 호흡수와 일회호흡량에 비례하므로 환자의 안정 상태에서 호흡수와 일회호흡량을 파악하고, 가장 근접한 최대 일회호흡량을 가진 수동식 인공호흡기를 선택하여 환자에게 환기를 시행하여야 한다. 다양한 종류의 최대 일회호흡량을 가진 수동식 인공호흡기가 구비되어 있으면 환자의 과팽창에 의한 폐포손상이나 기흉 등의 빈도를 줄일 수 있으나 현실적으로 제약이 많다. 또한 현재 사용하고 있는 self-inflating bag type의 수동식 인공호흡기는 압력은 제어할 수 있으나 부피는 제어할 수 없기 때문에 환자에게 인공 환기를 시킬 때, 과도한 저항이 느껴지지 않을 정도의 압착이 필요하다.

이러한 변형된 수동식 인공호흡기를 이용한다면 자발호흡이 불안정하여 MRI 검사를 시행하지 못했던 많은 환자들에게 검사를 시행할 수 있으므로 환자의 질환을 진단하는데 많은 도움을 줄 것이다. 실제로 5명의 다양한 환자에서 전혀 어려움이 없이 MRI 검사를 성공적으로 시행하였다. 앞으로 수동식 인공호흡기의 종류를 다양화하는 구체적인 노력이 필요할 것이며 또 하나의 다른 방안이 있다면 자기장 외 영역에 기계식 인공호흡기를 두고 비교적 원거리에서 관으로 연결하여 MRI 검사를 시도해보는 방법일 것이다. 또한 의료 기기가 계속 개발되어 환자의 침상에서 직접 뇌영상을 얻을 수 있는 날이 오리라 생각되며 항상 새로운 아이디어로 갖고 환자를 위해 부단히 노력하는 자세를 겸비하는 것도 의료인에게 중요하리라 생각된다.

요 약

목적 : 혼수 환자는 원인에 상관없이 혼수 상태가 오래 지속되었을 경우 회복능력의 상태로 될 수 있기 때문에 원인을 신속하게 발견하여 치료하는 것이 중요하다. 그 중 MRI 검사는 혼수 환자의 원인을 감별하는데 중요하나 자발호흡이 없는 환자에게 MRI 검사 시 여러 가지 제한점으로 인해 그 시행이 어려웠

다. 저자들은 변형된 수동식 인공호흡기를 이용하여 일정 거리에서 환자에게 전달되는 환기량을 유지하면서 MRI 검사가 가능한지 알아보고 안정성을 확인하고자 본 연구를 실시하였다.

방법 : 특별히 고안한 장치는 self-inflating bag type의 수동식 인공호흡기에 PVC 관을 연결하고 그 끝을 환자의 기도와 연결하여 만든 비교적 간단한 장치이다. 또한 안정성을 확인하기 위하여 기계식 인공호흡기를 이용하여 PVC 연결 관의 길이와 직경 및 일회호흡량(tidal volume)을 변화시켰을 경우 TVe, MVe, PIP를 측정하여 환기에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

결과 : 15 mm, 25 mm 직경의 2가지 종류의 PVC 연결 관을 이용하여 TVi를 변화시킴과 동시에 관의 길이를 1, 2, 3 m로 증가시킴에 따라 TVe, MVe, PIP 값을 측정하였으며, 그 결과 TVe, MVe 값은 대조군과 비교해 차이가 없었고 PIP 값은 TVi가 증가함에 따라, 관의 길이가 늘어남에 따라 의미 있는 증가를 보였다($P < 0.05$). 또한 관의 길이, TVi에 관계없이 PIP 값은 PVC 연결 관의 직경과 음의 상관관계를 보였다. 즉 관의 직경이 작을수록, 관의 길이가 길어질수록, 일회호흡량이 증가할수록, 환기량을 유지하기 위한 PIP값은 증가하였다. 5명의 환자들을 대상으로 이러한 방법을 이용하여 MRI 검사를 시행하였으며 성공적으로 검사를 실시하였다.

결론 : 저자들이 고안한 수동식 인공호흡기를 이용한다면 자발호흡이 불안정하여 MRI 검사를 시행하지 못했던 많은 환자들에게 더 많은 검사의 기회가 주어질 것이며 환자의 질환을 진단하는데 많은 도움을 줄 것이다.

References

- 1) Kuhn JP, Slovis TL, Haller JO. Caffey's pediatric diagnostic imaging. 10th ed. St. Louis : Mosby Co, 1999:319-20.
- 2) Martin RJ, Fanaroff AA, Walsh MC. Neonatal-perinatal medicine. 8th ed. St. Louis : Mosby Co, 2006:483-508.
- 3) Chang LT. A method for attenuation correction in radionuclide computed tomography. IEEE Trans Nucl Sci 1978;25:638-43.
- 4) Yudd AP, Van Heertum RL, Masdeu JC. Interventions and functional brain imaging. Semin Nucl Med 1991;21:153-8.
- 5) Hunter JV, Wang ZJ. MR spectroscopy in pediatric neuro-radiology. Magn Reson Imaging Clin N Am 2001;9:165-89.
- 6) Edwards MK, Barnes PD. Pediatric neuroimaging. Neuroimaging Clin N Am 1999;9:1-226.
- 7) American thoracic Society. Standardization of spirometry. Am J Respir Crit Care Med 1995; 15:1107-36.
- 8) European respiratory society. Lung volumes and forced ventilatory flows. Eur Respir J 1993;6:5-40.
- 9) Dark DS, Pingleton SK, Kerby GR. Hypercapnea during weaning a complication of nutritional support. Chest 1985; 88:141-5.
- 10) Field S, Kelly SM, Maklem PT. The oxygen cost of breathing in patients with cardio-respiratory disease. Am Res Respir Dis 1982;9:126-27.
- 11) Foster RE, Dubois AB, Briscoe WA, Fisher AB. The lung.

- 3rd ed. Chicago : Year book medical publishers 1986:115-6.
- 12) Goldsmith JP, Karotkin EH. Assisted ventilation of the neonate. 3rd ed. Philadelphia : W.B. Saunders Co, 1996:21.
 - 13) Heaf DP, Helms P, Gordon I. Postural effects on gas exchanges in infants. N Engl J Med 1983;308:1505.
 - 14) Polin RA, Fox WW. Fetal and neonatal physiology. 1st ed. Philadelphia : W.B. Saunders Co, 1992:771.
 - 15) Allwood AC, Madar RJ, Baumer JH, Readdy L, Wright D. Changes in resuscitation practice at birth. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed 2003;88:375-9.
 - 16) Hoskyns EW, Milner AD, Hopkin IE. A simple method of face mask resuscitation at birth. Arch Dis Child 1987;62:376-8.
 - 17) Cole AF, Rolbin SH, Hew EM, Pynn S. An improved ventilator system for delivery-room management of the newborn. Anesthesiology 1979;51:356-8.
 - 18) Ganga-Zandzou PS, Diependaele JF, Storme L. Is Ambu ventilation of newborn infants a simple question of fingertouch. Arch Pediatr 1996;3:1270-2.
 - 19) Finer NN, Rich W, Craft A, Henderson C. Comparison of methods of bag and mask ventilation for neonatal resuscitation. Resuscitation 2001;49:299-305.
 - 20) Kanter RK. Evaluation of mask-bag ventilation in resuscitation of infants. Am J Dis Child 1987;141:761-3.
 - 21) Murray JF. The normal lung. 1st ed. Philadelphia : W.B. Saunders Co, 1976:1.