

기관튜브내 압력에 관한 임상적 연구*

서울대학교 의과대학 마취과학교실

고 홍 · 정 익 수

서울대학교 치과대학 구강의과학교실

염 광 원

= Abstract =

A Study of Cuff Pressure in the Endotracheal Tube

Hong Ko, M.D. and Ik Soo Chung, M.D.

Department of Anesthesiology, College of Medicine, Seoul National University

Kwang Won Yum, M.D.

Department of Oral Surgery, College of Dentistry, Seoul National University

After the patients were intubated with a low- or high-pressure cuff, the cuffs were inflated with air enough to seal the trachea.

Intracuff volume and pressure were measured and the pressure exerted on the trachea were calculated. After administration of 0%, 50%, or 67% nitrous oxide the measurements were compared with the initial values.

1) At the start the high-pressure cuff exerted a higher pressure on the trachea than the low-pressure cuff.

2) The volumes of the high-pressure cuffs were not increased after 2 hours by the increasing the concentration of nitrous oxide, but the pressures in the cuffs were increased significantly. Volumes and pressures of low-pressure cuffs increased after 2 hours when increasing the concentration of nitrous oxide.

3) The pressure exerted on the trachea by the high-pressure cuff decreased without a relationship to the concentration of the nitrous oxide, but the pressure exerted on the trachea by the low-pressure cuff increased with increased concentration of nitrous oxide.

서 론

기관내 튜브의 cuff 는 인공호흡을 시행할 때 기도내 압력을 유지시켜 주고 역류된 식도나 위의 내용물이 폐로 흡입되는 것을 막아준다. 그러나 cuff 를 사용함에 따라 기관에 위해를 가할 수도 있는데 그 중 가장

흔한 합병증으로는 점막섬모의 소실¹⁾, 폐양형성^{2~4)}, 출혈⁵⁾, 기관협착^{2,6)} 및 기관식도누공^{2~4)}을 들 수 있다. 이러한 대부분의 합병증은 기관점막이 팽창된 cuff 에 의해 압력을 받음으로 발생한다고 생각되고 있다^{4,7)}. 기관내 위치한 공기로 팽창된 cuff 는 신체내에 있는 기체로 차여진 막힌 공간과 같은 상태이다. Tenny 등⁸⁾과 Eger 등⁹⁾은 체내에 위치한 기체로 차여 있는 막힌 공간은 공간내의 기체가 호흡하는 기체보다 혈액내의 용해도가 낮을 경우에는 팽창한다고 하였다. 실제로

* 본 논문은 1984년도 서울대학교병원 임상연구비의 보조로 이루어진 것임.

시험관 내에서나 생체내에서의 실험에서 기관내 삽관을 시행한 전신마취시에 아산화질소를 사용하면 cuff의 압력이 증가하는 것이 증명되었다^{10,11}. Cuff에 공기를 주입하면 cuff의 재질이 늘어나 결국 압력을 형성하게 되는데, 이 압력은 동일한 양을 주입한다면 탄성이 낮은 재질이 탄성이 높은 재질보다 높게 된다. 그러나 기관내에 cuff가 위치하게 되면 모든 cuff내의 압력이 기관벽에 미치는 것은 아니다¹².

저자들은 탄성이 높은 cuff와 탄성이 낮은 cuff를 사용하여 마취중 아산화질소의 농도를 변화시키면서 투여하여 압력 및 용적의 변화를 관찰하여 어떤 종류의 cuff가 기관점막에 많은 압력을 미칠 것인가를 알아보기 위하여 본 실험에 임하였다.

실험대상 및 방법

기관에 이상이 없는 정상 성인 90명을 대상으로 크게 두 군으로 나누어 L군은 저압력 cuff를 사용한 Shiley® 기관내 튜브를 사용하였고, H군은 고압력 cuff를 사용한 Rüsch® 기관내 튜브를 사용하여 기관

내 삽관을 시행하였다. 또한 양군을 각각 3군으로 나누어 1군은 100%의 산소와 halothane으로 마취를 유지하였고, 2군은 50%의 아산화질소와 halothane으로 마취를 유지하였으며, 3군은 67%의 아산화질소와 halothane으로 마취를 유지하였다.

각군 모두에서 정상 인공호흡시에 기도에 가해지는 압력에서 기체가 새어나오지 않을 정도로 cuff에 공기를 주입하여, 그 주입량을 기록하고 그때의 압력을 sphygmomanometer로 측정하여 대조치로 삼고, 2시간 후에 cuff의 압력을 다시 측정하고, cuff내의 기체의 용적을 주사기를 사용하여 측정하여 대조치에 대한 증감의 백분율을 계산하였다.

또한 저압력 및 고압력 cuff를 가진 튜브 각각 30개를 37°C의 수조에 넣어 주입 공기량을 변화시키면서 cuff내 압력을 측정하여 용적에 대한 압력의 최귀직선을 산출하여, 동일 cuff 용적에서 기관내에 있을 때의 압력에서 수조에 있을 때의 압력을 빼어 그 값을 기관점막에 미치는 압력으로 추정하였다.

모든 수치는 평균±표준오차(Mean±SE)로 표시하였고, 측정치의 통계적 검정은 Student unpaired t-

Table 1. Percent Changes of the Cuff Volume to Control after 2 Hours

No.	Low pressure cuffs			High pressure cuffs		
	L-1(%)	L-2(%)	L-3(%)	H-1(%)	H-2(%)	H-3(%)
1	16.7	33.3	50	-3.3	12.5	26.7
2	40	33.3	60	25	6.7	16.7
3	-2	30	16	-12.5	16.7	45
4	7.1	26.4	28	4	0	33.3
5	0	20	75	-28.6	0	24
6	8.3	18.6	20	0	20	0
7	22.2	28.6	28	14.3	36.7	15
8	0	28	10	12.5	27.8	0
9	20	16	50	0	12.5	0
10	37.5	17.5	81.8	-10	25	80
11	10	70	66.7	-50	120	150
12	60	17.1	41.7	5.6	13.6	22.2
13	12	16.7	28	12.5	12.5	33.3
14	30	52	76	-11.1	28.6	33.3
15	6.7	28	60	-16.7	37.5	-14.3
MEAN	17.9	29.0*	46.1*	-3.9*	24.7*	31.0*
SE	4.52	3.81	6.07	4.86	7.44	10.31

*: $p < 0.05$, compared with the previous value in the same kind of cuff.

*: $p < 0.05$, compared with the low pressure cuff in the same concentration of nitrous oxide.

Table 2. Percent Changes of the Cuff Pressure to Control after 2 Hours

No.	Low pressure cuffs			High pressure cuffs		
	L-1(%)	L-2(%)	L-3(%)	H-1(%)	H-2(%)	H-3(%)
1	-38.2	135.3	41.1	-9.7	6.6	10
2	5.3	44.1	87.5	1	8.8	11.4
3	-9.1	25	41.7	0	-0.9	5.1
4	-35.7	108.3	91.7	1.6	-5.4	13.9
5	-46.4	53.3	114.3	-4.4	5.8	11.3
6	-30.8	52	9.6	-8	2	18.9
7	-3.8	33.3	316.7	-30.9	7.3	3.6
8	-52.5	100	92.6	2.7	-4.1	3.7
9	-14.3	28.6	85.2	-7.5	-5	15.4
10	-28.6	28.4	186.4	-4.5	3.4	13
11	-20	80	70.8	-8.9	12.5	0
12	-18.8	58.3	155.6	-16	4.2	14.3
13	-22.2	42.9	60	-4	7.9	12
14	-16.7	37.5	85.7	9.4	6.1	6.3
15	-7.2	53.8	85.2	-7.1	2.6	3.8
MEAN	-22.6	58.7*	102.0*	-5.8 ⁺	3.5**	9.5**
SE	4.17	32.84	18.95	2.40	1.37	1.40

*: $p < 0.05$, compared with the previous value in the same kind of cuff.

⁺: $p < 0.05$, compared with the low pressure cuff in the same concentration of nitrous oxide.

test 와 Tukey's test 를 이용하였으며 $p < 0.05$ 를 유의 수준으로 하였다.

실 험 결 과

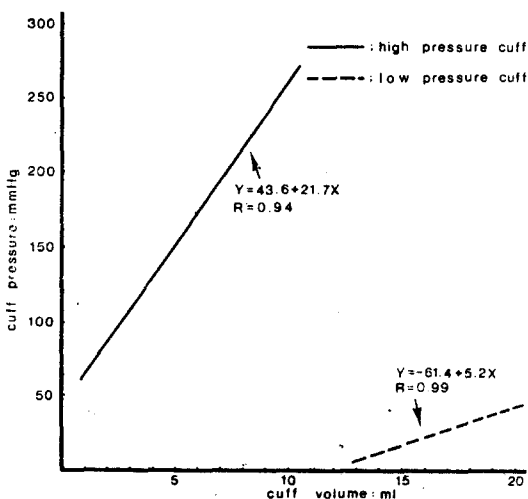


Fig. 1. Relationship between cuff volume and pressure in 37°C water bath.

각군에서 2시간 후의 cuff 내 용적의 변화를 대조치에 대한 백분율 증감으로 표시한 결과는 Table 1과 같았으며, L-1군, L-2군, L-3군간에는 각각 유의한 차이가 있었으며, H-1군과 H-2군간과 H-1군과 H-3군간에는 유의한 차이가 있었으나 H-2군과 H-3군간에는 유의한 차이가 없었다. 또한 동일 농도의 아산화질소를 흡입시킨 저압력과 고압력 cuff 사이에서는 L-1군과 H-1군간에서만 유의한 차이가 있었다.

각군에서 2시간 후의 cuff 내 압력의 변화를 대조치에 대한 백분율 증감으로 표시한 결과는 Table 2와 같으며, L-1군, L-2군, L-3군 간에는 각각 유의한 차이가 있었으며, H-1군, H-2군, H-3군간에도 각각 유의한 차이가 있었다. 또한 L-1군과 H-1군, L-2군과 H-2군, L-3군과 H-3군간에도 유의한 차이가 있었다.

37°C의 수조 속에서 주입공기량을 변화시키면서 측정한 cuff 내의 압력변화와 용적간의 회귀직선은 Fig.

Table 3. Initial Pressures Exerted on the Trachea by the Cuffs

No.	Low pressure cuffs			High pressure cuffs		
	L-1(mmHg)	L-2(mmHg)	L-3(mmHg)	H-1(mmHg)	H-2(mmHg)	H-3(mmHg)
1	34	34	34	110	51	71
2	38	34	24	79	51	76
3	22	20	24	81	58	67
4	28	24	26	106	75	71
5	28	30	28	76	63	41
6	26	26	52	69	94	49
7	26	25	12	178	68	94
8	40	30	27	95	6	9
9	35	30	27	88	83	77
10	21	28	22	47	72	102
11	10	42	48	118	29	64
12	32	30	18	107	59	99
13	5	24	40	100	78	123
14	5	24	35	29	123	0
15	32	35	27	41	64	4
MEAN	25	29	30	88 ⁺	65 ⁺	66 ⁺
SE	2.9	1.4	2.8	9.4	6.9	8.7

*: $p < 0.05$, compared with the previous value in the same kind of cuff.

*: $p < 0.05$, compared with the low pressure cuff in the same concentration of nitrous oxide.

1과 같았으며, 고압력 cuff는 cuff의 용적이 증가함에 따라 급격히 압력이 증가하는 양상을 보이나 저압력 cuff는 매우 완만한 압력 증가 현상을 볼 수 있으며 주입량 10 cc 이하에서는 압력이 0이었다. 이에 의하여 계산한 cuff 내 공기 주입 직후 기관절막에 미치는 압력은 Table 3과 같으며, 저압력 cuff 사용시인 L-1군, L-2군, L-3군간에는 각각 유의한 차이가 없었으며, 고압력 cuff 사용시인 H-1군, H-2군, H-3군간에도 각각 유의한 차이가 없었다. 그러나 전체적인 저압력 cuff 사용시의 평균은 28 ± 1 mmHg였고, 고압력 cuff 사용시에는 73 ± 5 mmHg로 유의한 차이가 있었다.

2시간 후에 기관절막에 미치는 압력은 L-1군과 L-2군, L-1군과 L-3군간에서는 유의한 차이를 보였으나 고압력 cuff를 사용한 경우에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 저압력과 고압력 cuff 사이에서는 L-1군과 H-1군간에서만 유의한 차이를 보이고 있다(Table 4).

2시간 후에 기관절막에 미치는 압력을 대조치에 대한 백분을 중값으로 표시하면 Table 5와 같으며, L-1

군, L-2군, L-3군간에서는 모두 유의한 차이를 보이고 있으나, H-1군, H-2군, H-3군간에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 또 L-2군과 H-2군, L-3군과 H-3군간에서도 유의한 차이를 나타내었다.

고 안

기관내 튜브에 cuff를 사용할 때에는 양압환기시에 기도가 새는 것을 막아주고 토물이 흡인되는 것을 방지하는 동시에 기관에 상해를 주어서는 안되기 때문에 cuff 내의 압력이 과도하게 높거나 낮아서는 안된다.

Dobrin 등¹²⁾의 실험에 의하면 기도가 새지 않을 정도로 충분히 팽창시켰을 때 탄성이 낮은 cuff가 높은 cuff보다 기관의 혈류를 많이 감소시켰으며, 모든 cuff에서 기관벽의 심층부보다는 점막부의 혈류가 더욱 감소된다고 하였다. Knowlson 등¹⁰⁾에 의한 실험에서 간헐적 양압환기를 하는 환자에서 기관내 튜브 cuff에 의하여 기관벽에 미치는 압력을 측정된 결과, 압력이 과도하게 높아질 가능성이 있어서 기관괴사를 유발하기에 충분하였고, 이러한 압력은 기관주위를 따라 균

Table 4. The Pressures Exerted on the Trachea by the Cuffs after 2 Hours

No.	Low pressure cuffs			High pressure cuffs		
	L-1(mmHg)	L-2(mmHg)	L-3(mmHg)	H-1(mmHg)	H-2(mmHg)	H-3(mmHg)
1	21	80	50	93	52	68
2	40	49	45	60	61	86
3	20	25	34	48	34	38
4	18	50	46	95	65	74
5	15	33	60	108	73	36
6	18	46	57	53	77	66
7	25	40	50	75	57	103
8	19	38	52	57	0	0
9	30	40	50	70	91	109
10	15	60	63	53	58	118
11	8	36	82	114	0	96
12	26	54	46	113	147	60
13	14	55	64	90	63	59
14	10	38	75	33	68	0
15	25	50	50	43	37	37
MEAN	20	46*	55*	74*	59	63
SE	2.1	3.4	3.2	6.9	9.1	9.4

* : $p < 0.05$, compared with the previous value in the same kind of cuff.

* : $p < 0.05$, compared with the low pressure cuff in the same concentration of nitrous oxide.

등하게 미치지 않는 것으로 나타났다. 즉 대부분의 cuff는 둥근 모양을 하는데 반하여, 기관의 단면은 삼각형이거나 타원형으로 생겼기 때문에 처음 cuff가 팽창하기 시작할 때에는 기관의 가장 좁은 부분에 먼저 닿게 된다. 따라서 기도가 새지 않을 정도로 cuff를 팽창시키면 처음 닿았던 부분의 압력은 더욱 증가하게 된다¹⁵⁾. 탄성이 높은 cuff는 기관에 미치는 압력이나 cuff내의 압력이 별로 증가하지 않으면서 기도를 폐쇄(sealing)시킬 수 있으나 탄성이 낮은 cuff는 둥근 모양을 계속 유지하려는 성질 때문에 기도가 폐쇄되었을 때는 기관 모양이 변형될 수도 있다.

본 실험에서도 기관내 삽관 시행 후 cuff에 공기를 주입하였을 때 cuff내 압력과 기관에 미치는 압력은 저압력보다 고압력 cuff 사용시에 높은 것으로 나타났다.

여러 학자의 실험에 의하면 마취제로 아산화질소를 사용하였을 때에는 cuff내의 용적과 압력이 모두 증가하는 것으로 나타났다^{11, 16, 17)}. 본 실험에서 아산화질

소를 사용하지 않은 경우에는, 저압력 cuff에서는 cuff내의 용적은 증가하였으나 압력은 감소하는 경향을 보였고, 고압력 cuff에서는 용적에는 유의한 변화가 없었으나 압력은 약간 감소하는 경향을 보였다. 이러한 압력 감소의 원인은 실온의 cuff가 체내에 삽관됨에 따라 cuff재질의 온도가 상승하여 탄성이 증가하였기 때문이라고 추정된다.

50%와 67%의 아산화질소를 투여하였을 때 흡산소만 투여하였을 때와 비교하면 저압력 cuff에서는 아산화질소의 농도가 증가함에 따라 용적과 압력이 모두 상승하였으나 고압력 cuff에서는 50% 때에만 cuff의 용적 및 압력이 증가하였으나 67%시에는 압력은 증가하였고 용적은 별로 증가하지 않았다. 이는 고압력 cuff는 처음 공기주입시부터 cuff내 압력이 높았기 때문에 아산화질소가 cuff내로 확산되는율이 저압력 cuff보다 낮았기 때문이라고 추정된다.

기관점막에 미치는 압력은 저압력 cuff에서는 아산화질소의 농도가 높아짐에 따라 현저하게 증가하는 것

Table 5. Percent Changes of the Pressures Exerted on the Trachea by the Cuffs to Control after 2 Hours

No.	Low pressure cuffs			High pressure cuffs		
	L-1(%)	L-2(%)	L-3(%)	H-1(%)	H-2(%)	H-3(%)
1	-38	35	47	-15	2	-4
2	5	44	88	-24	20	13
3	9	25	42	-41	-41	-43
4	-36	108	77	-10	-13	4
5	-46	38	114	42	16	-12
6	-31	53	10	-23	-18	-35
7	-4	54	317	-58	-16	10
8	-53	52	93	-40	-100	-100
9	-14	33	85	-20	10	42
10	-29	100	186	13	-19	16
11	-2	29	71	-3	-100	50
12	-19	29	156	-6	20	-39
13	180	83	60	-10	7	-52
14	100	58	114	14	-13	0
15	-22	43	85	5	-42	-10
Mean	0	52*	103*	-12	-19 ⁺	-11 ⁺
SE	15.9	6.6	19.0	6.4	9.9	9.9

* : $P < 0.05$, compared with the previous value in the same kind of cuff.

⁺ : $P < 0.05$, compared with the low pressure cuff in the same concentration of nitrous oxide.

을 볼 수 있으나, 고압력 cuff에서는 아산화질소 농도에 크게 영향을 받지 않으며 오히려 시간이 지남에 따라 감소하는 양상을 보이고 있다. 즉 고압력 cuff는 확산율이 적고 시간이 지남에 따라 탄성이 증가하여 압력이 감소하는 것으로 생각된다.

임상적으로 고압력 cuff는 비록 시간이 지남에 따라 압력이 약간 감소하는 양상을 보이나 초기의 기관에 미치는 압력이 높기 때문에 사용이 바람직하지 않으며 저압력 cuff도 시간이 지남에 따라 현저한 압력 증가를 나타냄으로 일정 간격으로 압력을 측정하여 조절하여 주는 것이 바람직할 것이다.

결 론

저압력 cuff 및 고압력 cuff를 사용하여 기관내 삽관을 시행한 후 아산화질소 농도를 0%, 50% 및 67%로 증가시키면서 cuff 내의 용적, 압력을 측정하고 기관에 미치는 압력을 산출한 바 다음과 같은 결과를 얻

었다.

1) 고압력 cuff가 저압력 cuff보다 처음 공기주입 후에 기관에 미치는 압력이 현저하게 높았다.

2) 고압력 cuff에서는 아산화질소의 농도를 증가시킬 때 용적의 증가는 별로 없었으나 압력은 증가하였으며, 저압력 cuff에서는 아산화질소의 농도가 증가함에 따라 용적 및 압력이 현저하게 증가하였다.

3) 고압력 cuff는 아산화질소의 농도에 관계없이 2시간 후에는 기관에 미치는 압력이 감소하였으나, 저압력 cuff에서는 아산화질소의 농도가 높을수록 기관에 미치는 압력이 증가하여 고압력 cuff와 비슷한 정도가 되었다.

이상의 결과로 임상적으로 사용하는 아산화질소 농도에서 처음에는 고압력 cuff가 기관에 높은 압력을 미치나 시간이 지남에 따라 저압력 cuff도 기관에 미치는 압력이 증가하므로 일정한 간격으로 cuff 내의 압력을 측정하여 조절하여 주는 것이 바람직하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Klainer AS, Turndorf H, Wu WH, et al: *Surface alterations due to endotracheal intubation. Am J Med* 58:674, 1975
- 2) Andrews MJ, Pearson FG: *Incidence and pathogenesis of tracheal injury following cuffed tube tracheostomy with assisted ventilation; analysis of two-year prospective study. Ann Surg* 173:249, 1971
- 3) Ching NP, Ayres SM, Spina RC, et al: *Endotracheal damage during continuous ventilatory support. Ann Surg* 179:123, 1974
- 4) Cooper JD, Gillo HC: *Experimental production of injury due to cuffed tracheal tubes. Surg Gynecol Obstet* 129:1235, 1969
- 5) Silem W, Spieker D: *Fatal hemorrhage from innominate artery after tracheostomy. Ann Surg* 162:1005, 1965
- 6) Pearson FG, Goldberg M, da Silva AS: *Tracheal stenosis complicating tracheostomy with cuffed tubes. Arch Surg* 97:380, 1968
- 7) Dunn CR, Dunn DL, Moser KM: *Determinants of tracheal injury by cuffed tracheostomy tubes. Chest* 65:2, 1974
- 8) Trenny SM, Carpenter FG, Rahn H: *Gas transfer in a sulfur hexafluoride pneumoperitoneum. J Appl Physiol* 6:201, 1953
- 9) Eger EI, Saidman LJ: *Hazards of nitrous oxide anesthesia in bowel obstruction and pneumothorax. Anesthesiology* 26:61, 1965
- 10) Stanley TH, Kawamura R, Graves C: *Effects of nitrous oxide on volume and pressure of endotracheal tube cuffs. Anesthesiology* 43:256, 1974
- 11) Stanley TH: *Nitrous oxide and pressures and volumes of high-and low-pressure endotracheal tube cuffs in intubated patients. Anesthesiology* 42:637, 1975
- 12) Doyle JM, Dobrin PB: *Transtacheal pressure exerted by endotracheal tube cuffs. J Biomech* 8:247, 1975
- 13) Dobrin P, Canfield T: *Cuffed endotracheal tubes; mucosal pressures and tracheal wall blood flow. Am J Surg* 133:562, 1977
- 14) Knowlson GTG, Bassett HDM: *The pressures exerted on the trachea by endotracheal inflatable cuffs. Br J Anaesth* 42:834, 1970
- 15) Dobrin PB, Goldberg EM, Canfield TR: *The endotracheal cuff: a comparative study. Anesth Analg (Cleve)* 53:436, 1974
- 16) Patel RI, Oh TH, Epstein BS: *Effects of nitrous oxide on pressure changes of tracheal tube cuffs following inflation with air and saline. Aanaesthesia* 38:44, 1983
- 17) Stanley TH: *Effects of anesthetic gases on endotracheal tube cuff gas volumes. Anesth Analg* 53:480, 1974