

□ 원      저 □

## Body Plethysmograph를 이용한 Airway Resistance Curve의 임상적 의의

이화여자대학교 의과대학 내과학교실

천      선      희

= Abstract =

### Clinical Significance of Airway Resistance Curve by the Body Plethysmograph

Seon Hee Cheon, M.D.

*Department of Internal Medicine, College of Medicine Ewha Womans University, Seoul, Korea*

**Background:** Airway resistance(Raw) is measured with the body plethysmograph by displaying the relationship between airflow and alveolar pressure(V/P<sub>A</sub>). If the resistance curve on V/P<sub>A</sub> tracing is curved or looped, the estimation of Raw is difficult. This study was designed to examine wheather there is any correlation between the shape of resistance curve and the clinical status and the pulmonary function of patients.

**Methods:** The 146 pulmonary disease patients with increased Raw were included in this study. The shapes of resistance curves on V/P<sub>A</sub> tracing with body plethysmograph during quiet breathing were analyzed and compared with pulmonary function.

**Results:** The results were as follows ;

1) The shapes of resistance curves were summarized in 5 categories; type 1: linear, type 2: ovoid, type 3: sigmoid, type 4: scoop, type 5: paisley. The type 3 except 1 case, type 4 and type 5 were found to have loop mainly in expiratory phase.

2) Although the shapes of resistance curves were not typical for specific disease, the resistance curves of acute disease tended to belong to type 1 or 2 and those of chronic airflow obstruction tended to belong to type 3, 4 or 5. But resistance curves of bronchial asthma and destructive lung with tuberculosis showed all types in proportion to degree of airflow obstruction or destruction of parenchyme.

3) In the cases of resistance curves going to type 5 rather than type 1 and those with looping, airflow obstruction tended to be severe and airway resistance and residual volume tended to increase.

**Conclusions:** Analysis of resistance curve on V/P<sub>A</sub> tracing measuring airway resistance is helpful for judging degree of airflow obstruction and air trapping. Although the shape of resistance curve is not typical for specific disease, there is a close association between looping and airway obstruction.

---

**Key Words:** Airway resistance, Resistance curve, Body Plethysmograph

## 서 론

Airway resistance는 대기와 폐의 가스교환기구 사이 모든 기도(airway)에서 생성되는 기류(airflow)에 대립되는 힘으로 Body plethysmograph를 이용하여 flow/alveolar pressure(V/P<sub>A</sub>)의 관계를 측정함으로써 얻어질 수 있다. 이때 oscilloscope의 V/P<sub>A</sub> tracing 상 그려지는 curve를 'resistance curve'라 하며 직선으로 취급하여 수평, 수직선 상에서 형성되는 각도를 얻어 airway resistance를 계산하는데, airway resistance가 정상인 경우 curve가 거의 linear하나 증가된 경우에는 그 모양이 기울어지거나 loop을 형성하는 경우가 많아 측정이 용이하지 않다<sup>1~4)</sup>.

따라서 저자는 기도저항의 측정치 뿐 아니라 oscilloscope 상에서 얻어지는 resistance curve 형태를 분석하여 환자의 임상적인 평가에 도움이 되는 결과를 얻고자 본 연구를 시행하였다.

## 대상 및 방법

연구대상은 1992년 3월 부터 1994년 2월 까지 이화여대 부속병원에서 폐기능 검사를 시행받은 환자중 기도저항이 증가되어 있었던 158명 중 resistance curve의 모양이 이상하여 일정한 형태로 구분하기 어려웠던 12예를 제외한 146예를 대상으로 하였다.

환자의 구분은 만성기류폐쇄(chronic airflow obstruction)<sup>4)</sup>를 보이는 환자로 만성기관지염(chronic bronchitis) 22예, 천식성 기관지염(asthmatic bronchitis) 6예, 폐기종(emphysema) 9예가 있었으며, 과거에 앓은 폐결핵으로 폐의 심한 파괴(destruction)를 보이는 환자 19예, 기관지확장증(bronchiectasis) 6예, 안정된 상태의 기관지 천식(bronchial asthma) 38예, 급성 기관지염(acute bronchitis) 19예, 상기도 감염(upper respiratory infection) 11예 및 기타 폐암, 흉막염, 간질성 폐렴 등의 16예가 포함되었다.

연구방법은 Sensormedics Pulmonary Function Laboratory 2100을 사용하여 유량-기량 곡선(flow-volume curve)을 측정하였고, Sensormedics 2800

Autobox(pressure/volume plethysmograph)를 사용하여 quiet breathing method로 airway resistance 및 lung volume을 측정하였다. Airway resistance(이하 Raw)는 resistance curve의 0.5 liters per second 속도에서 기울기를 측정한 것을 이용하였다.

Autobox의 oscilloscope 상 flow/alveolar pressure tracing에서 얻어지는 resistance curve를 형태에 따라 구분하여 분석하였다.

통계처리는 상용 program인 SPSSPC plus 통계 package를 이용하였으며 Scheffe Test를 이용하여 검증하였다.

## 결 과

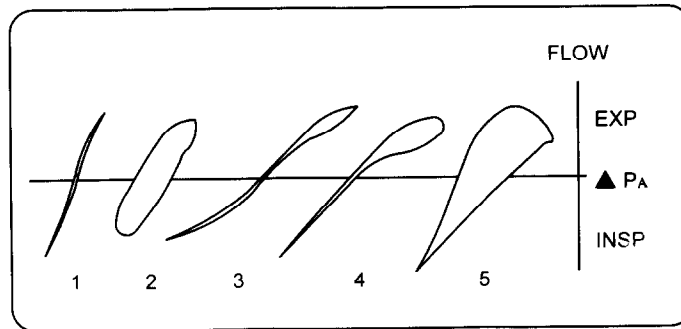
### 1. Resistance curve 형태의 분석

각 환자에서 얻은 resistance curve는 5 가지 형태로 대별할 수 있었으며 모양에 따라 저자 임의로 다음과 같이 명명하였다. Type 1: linear, Type 2: ovoid, Type 3: sigmoid, Type 4: scoop, Type 5: paisley(Fig. 1). 1예를 제외한 type 3와 type 4 및 5는 loop을 형성하였으며 Type 5로 갈수록 만곡이 심하였다.

환자의 임상질환을 resistance curve의 형태에 따라 구분해 보았을때(Table 1) 만성기류폐쇄를 보이는 질환은 37예중 32예가 type 3,4 혹은 5에 속하였는데 특히 천식성 기관지염은 1예를 제외하고, 폐기종은 전예 type 4 및 5에 속하였다. 과거에 앓은 폐결핵으로 심한 폐 파괴를 보이는 환자 및 기관지확장증은 type 1에서 5 까지의 형태를 보였으나 주로 type 1과 2에 속하였으며, 기관지 천식은 type 1에서 5 까지 형태를 모두 보였다. 급성 기관지염 및 상기도 감염은 주로 type 1, 2에 속하였다.

### 2. Resistance Curve 형태에 따른 폐기능의 비교

전체 146명의 환자를 대상으로 5가지 resistance curve의 형태에 따라 폐기능을 비교해 보았을때(Table 2) FEV<sub>1</sub>(forced expiratory volume in 1 second)은 type 3, 4 및 5가 각각 예측치의  $38 \pm 10.3\%$ ,  $49 \pm 19.5\%$ ,  $34 \pm 10.0\%$ 로 type 1, 2의  $71 \pm 15.2\%$ ,  $65 \pm$



**Fig. 1.** The five types of airway resistance curve on flow: alveolar pressure tracing (Type 1: linear, Type 2: ovoid, Type 3: sigmoid, Type 4: scoop, Type 5: paisley).

**Table 1.** Clinical Diagnosis and Resistance Curve Type of Subjects

		Type 1(n=26)	Type 2(n=60)	Type 3(n= 8)	Type 4(n=30)	Type 5(n=22)
CAO*	(n=37)	1	4	2	14	16
Chronic bronchitis	(n=22)	1	4	1	10	6
Asthmatic bronchitis	(n= 6)	0	0	1	2	3
Emphysema	(n= 9)	0	0	0	2	7
Old tuberculosis#	(n=19)	1	10	1	3	4
Bronchiectasis	(n= 6)	1	4	0	1	0
Bronchial asthma	(n=38)	11	16	4	5	2
Acute bronchitis	(n=19)	4	10	0	5	0
URI	(n=11)	6	4	0	1	0
Other	(n=16)	1	3	0	10	2

\* chronic airflow obstruction

# patient with destructive lung due to old tuberculosis

19.1%에 비하여 유의하게 감소되어 있었으며, RV(residual volume)은 type 3, 4, 및 5가 각각 예측치의  $201 \pm 53.7\%$ ,  $186 \pm 72.2\%$ ,  $249 \pm 63.6\%$ 로 type 1, 2의  $123 \pm 35.0\%$ ,  $147 \pm 53.8\%$ 에 비하여 유의하게 증가되었다. Raw는 type 3, 4 및 5가 각각  $6.09 \pm 1.064$  cmH<sub>2</sub>O/L/s,  $6.12 \pm 2.158$  cmH<sub>2</sub>O/L/s,  $7.24 \pm 3.863$  cmH<sub>2</sub>O/L/s로 type 1, 2의  $3.98 \pm 0.887$ cmH<sub>2</sub>O/L/s,  $4.86 \pm 1.601$ cmH<sub>2</sub>O/L/s에 비하여 유의하게 증가되었으며, SGaw(specific airway conductance)는 type 3, 4 및 5가 각각  $0.035 \pm 0.006$  1/cmH<sub>2</sub>O.s,  $0.049 \pm 0.026$  1/cmH<sub>2</sub>O.s,  $0.038 \pm 0.019$  1/cmH<sub>2</sub>O.s로 type 1, 2의

$0.097 \pm 0.045$  1/ cmH<sub>2</sub>O.s,  $0.116 \pm 0.265$  1/cmH<sub>2</sub>O.s에 비하여 감소되어 있었다. 기도폐쇄와 기관지 염증이 만성적인 만성기류폐쇄 환자, 과거 폐결핵 환자 및 기관지확장증 환자 62예를 대상으로 resistance curve 형태에 따라 폐기능을 비교해 보았을때(Table 3), 역시 type 1에서 type 5로 갈수록 FEV1은 감소되며 RV과 Raw는 증가되며 SGaw는 감소되는 경향을 보였다. Type 1에서 type 5로 갈수록 기도폐쇄가 심하고 기도저항이 증가되며(Fig. 2) 전폐용량의 잔기량이 커지는 경향을 보였다.

Table 2. Comparison of Pulmonary Function Test Results according to the Resistance Curve Types in All Patients(Mean  $\pm$  SD)

	Type 1 (n=26)	Type 2 (n=60)	Type 3 (n= 8)	Type 4 (n=30)	Type 5 (n=22)
Age (years)	45 $\pm$ 16	49 $\pm$ 15	58 $\pm$ 8	61 $\pm$ 9*	63 $\pm$ 9*
FVC (% pred)	76 $\pm$ 13.6	68 $\pm$ 15.6	55 $\pm$ 16.6*	63 $\pm$ 13.2	49 $\pm$ 10.9*
FEV1 (% pred)	71 $\pm$ 15.2	65 $\pm$ 19.1	38 $\pm$ 10.3*	49 $\pm$ 19.5*	34 $\pm$ 10.0*
FEV1/FVC (%)	73 $\pm$ 12.5	72 $\pm$ 11.0	52 $\pm$ 11.3*	55 $\pm$ 14.9*	50 $\pm$ 10.5*
TLC (% pred)	101 $\pm$ 17.2	103 $\pm$ 22.4	121 $\pm$ 32.8	116 $\pm$ 27.7*	140 $\pm$ 22.6*
RV (% pred)	123 $\pm$ 35.0	147 $\pm$ 53.8	201 $\pm$ 53.7*	186 $\pm$ 72.2*	249 $\pm$ 63.6*
RV/TLC (%)	40 $\pm$ 10.1	47 $\pm$ 12.0	62 $\pm$ 9.2*	59 $\pm$ 10.7*	70 $\pm$ 10.7*
Raw0.5 (cmH <sub>2</sub> O/L/s)	3.98 $\pm$ 0.887	4.86 $\pm$ 1.601	6.09 $\pm$ 1.064	6.12 $\pm$ 2.158*	7.24 $\pm$ 3.863*
SGaw (l/cmH <sub>2</sub> O.s)	0.097 $\pm$ 0.045	0.116 $\pm$ 0.265	0.035 $\pm$ 0.006	0.049 $\pm$ 0.026	0.038 $\pm$ 0.019

\* p < 0.05 when compared with Type 1 and Type 2.

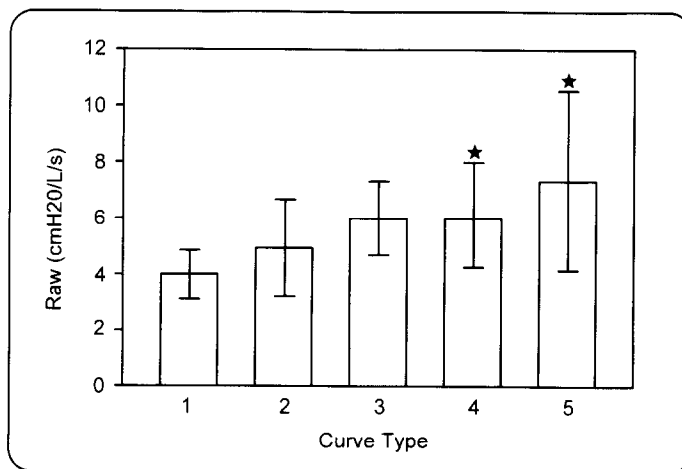


Fig. 2. Comparison of airway resistance(Mean  $\pm$  SD) according to types of resistance curve in all patients. (\*P<0.05 when compared with type 1 and 2)

### 3. Resistance Curve의 Loop 형성 여부에 따른 폐기능의 비교

Resistance curv상 호기시 loop 형성여부에 따라 Non-looping 군(type 1, 2 및 type 3 중 1 예)과 looping 군(type 4, 5 및 1예를 제외한 type 3)으로 나누어 보았을때(Table 4) FEV1은 각각 예측치의 66 $\pm$ 18.1%, 42 $\pm$ 17.1%, FVC는 각각 예측치의 70 $\pm$ 15.3%, 56 $\pm$ 14.1%, TLC는 각각 예측치의 103 $\pm$ 21.2%, 124 $\pm$ 28.5%, RV은 각각 예측치의 141 $\pm$ 50.4%, 210 $\pm$

73.4%, Raw는 각각 4.60 $\pm$ 1.467 cmH<sub>2</sub>O/L/s, 6.55 $\pm$ 2.851cmH<sub>2</sub>O/L/s, SGaw는 각각 0.109 $\pm$ 0.221 l/cmH<sub>2</sub>O.s, 0.043 $\pm$ 0.023 l/cmH<sub>2</sub>O.s로 looping군이 Non-looping 군에 비하여 유의하게 FEV1 및 FVC는 낮았으며, TLC 와 RV 및 Raw는 높았고, SGaw는 낮았다.

## 고 찰

기도저항을 측정하기 위한 body plethysmograph상

Table 3. Comparison of Pulmonary Function Test Results according to the Resistance Curve Types in Patients with CAO#, old tuberculosis and bronchiectasis( Mean  $\pm$  SD )

		Type 1 (n=3)	Type 2 (n=18)	Type 3 (n=3)	Type 4 (n=18)	Type 5 (n=20)
Age	(years)	40 $\pm$ 14	53 $\pm$ 17	57 $\pm$ 5	61 $\pm$ 9	64 $\pm$ 9*
FVC	(% pred)	61 $\pm$ 10.6	57 $\pm$ 11.0	44 $\pm$ 19.0	56 $\pm$ 12.5	49 $\pm$ 11.0*
FEV1	(% pred)	59 $\pm$ 6.8	52 $\pm$ 11.4	33 $\pm$ 9.2*	38 $\pm$ 13.7*	33 $\pm$ 9.4*
FEV1/FVC	(%)	78 $\pm$ 20.1	68 $\pm$ 7.9	58 $\pm$ 16.0	49 $\pm$ 11.4*	48 $\pm$ 8.9*
TLC	(% pred)	111 $\pm$ 24.6	96 $\pm$ 19.7	103 $\pm$ 38.1	121 $\pm$ 31.5*	140 $\pm$ 22.6*
RV	(% pred)	167 $\pm$ 52.6	147 $\pm$ 49.8	186 $\pm$ 59.0	214 $\pm$ 75.4*	249 $\pm$ 63.6*
RV/TLC	(%)	47 $\pm$ 10.8	51 $\pm$ 12.2	65 $\pm$ 5.2*	65 $\pm$ 8.9*	70 $\pm$ 10.7*
Raw0.5	(cmH <sub>2</sub> O/L/s)	3.31 $\pm$ 0.907	5.07 $\pm$ 1.664	5.80 $\pm$ 1.212	6.21 $\pm$ 2.143	7.49 $\pm$ 3.970*
SGaw	(1/cmH <sub>2</sub> O.s)	0.087 $\pm$ 0.031	0.069 $\pm$ 0.028	0.034 $\pm$ 0.008*	0.041 $\pm$ 0.021*	0.035 $\pm$ 0.017*

# chronic airflow obstruction

\* p < 0.05 when compared with Type 2.p

Table 4. Comparison of Pulmonary Function Test Results between groups with Non-Looping and Looping of Resistance Curve in All Patients(Mean  $\pm$  SD)

		Non-Looping (n = 87)	Looping (n = 59)
Age	(years)	48 $\pm$ 16	62 $\pm$ 9*
FVC	(% pred)	70 $\pm$ 15.3	56 $\pm$ 14.1*
FEV1	(% pred)	66 $\pm$ 18.1	42 $\pm$ 17.1*
FEV1/FVC	(%)	72 $\pm$ 11.6	53 $\pm$ 13.2*
TLC	(% pred)	103 $\pm$ 21.2	124 $\pm$ 28.5*
RV	(% pred)	141 $\pm$ 50.4	210 $\pm$ 73.4*
RV/TLC	(%)	45 $\pm$ 11.9	63 $\pm$ 11.7*
Raw0.5	(cmH <sub>2</sub> O/L/s)	4.60 $\pm$ 1.467	6.55 $\pm$ 2.851*
SGaw	(1/cmH <sub>2</sub> O.s)	0.109 $\pm$ 0.221	0.043 $\pm$ 0.023*

\* p < 0.05 when compared with Non-Looping Group.

의 flow/alveolar pressure(V/P<sub>A</sub>) tracing에서 얻어지는 resistance curve 모양을 분석하였는데 기도저항이 증가되었던 환자 146예를 대상으로 그 모양에 따라 type 1; linear, type 2; ovoid, type 3; sigmoid; type 4; scoop, type 5; paisley의 5가지 형태로 대별할 수 있었다(Fig. 1). type 1과 2는 기도저항을 측정하기 위한 curve의 기울기를 측정하기가 용이하나 type 3, 4 및 5는 만곡이 심하고 주로 호기시에 loop이 형성되어 curve의 기울기 측정이 어려운 경우가 많다. 상기도 감

염이나 급성 기관지염과 같은 급성질환은 curve의 형태가 주로 type 1 및 2에 속하였고 만성기류폐쇄를 보이는 만성 기관지염, 천식성 기관지염 및 폐기종은 주로 type 3, 4 및 5에 속하였으며, 오래된 폐결핵이나 기관지 천식 환자는 폐 실질의 파괴나 기도 폐쇄의 정도에 따라 다양하게 type 1 부터 5 까지의 curve 형태를 보였다. 따라서 curve의 형태가 특정 질환에 특징적이지는 않았으나 주로 만성적이고 기도폐쇄가 심하고 과팽창이 될수록 resistance curve가 loop이 형성되고 만곡이 심하여 type 5 쪽으로 가는 경향을 볼 수 있었다. 폐탄성이 감소되어 기도폐쇄가 심한 폐기종의 경우 9예가 모두 type 4 및 5에 속하였으며 폐의 과팽창을 보이는 천식성 기관지염은 6예 모두 type 3, 4, 및 5에 속하였다(Table 1).

전체 환자를 대상으로 resistance curve 형태에 따른 폐기능을 비교하여 보면(Table 2), 예측치에 비교한 평균 FEV1 값이 type 1은 71%, type 2는 65%로 경한 기도폐쇄를 보임에 비하여 type 3는 38%, type 4는 49%, type 5는 34%로 중증 기도폐쇄를 보였다. 예측치에 비교한 평균 TLC와 RV은 각각 type 1이 101%, 123%, type 2가 103%, 147%, type 3가 121%, 201%, type 4가 116%, 186%, type 5가 140%, 249%로 type 5로 갈 수록 전폐용량이 커지는 것에 비하여 잔기량이 현저히 커지는 경향을 보였다. 평균 기도저항은 type 1이 3.98 cmH<sub>2</sub>O/L/s, type 2가 4.86 cmH<sub>2</sub>O/L/s, type 3

가 6.09 cmH<sub>2</sub>O/L/s, type 4는 6.12 cmH<sub>2</sub>O/L/s, type 5는 7.24 cmH<sub>2</sub>O/L/s로 type 5로 갈 수록 유의하게 증가되었다(Fig. 2). 평균 SGaw는 type 1이 0.097 l/cmH<sub>2</sub>O.s, type 2가 0.116 l/cmH<sub>2</sub>O.s, type 3가 0.035 l/cmH<sub>2</sub>O.s, type 4가 0.049 l/cmH<sub>2</sub>O.s, type 5가 0.038 l/cmH<sub>2</sub>O.s로 type 1, 2에 비하여 type 3, 4, 5에서 현저히 감소됨을 볼때 폐용적 및 기도저항이 type 5로 갈수록 크게 증가하는 것을 보여준다. 기도폐쇄와 기관지 염증이 만성적인 만성기류폐쇄 환자, 과거 폐결핵 환자 및 기관지확장증 환자를 대상으로하여 resistance curve 5 가지 형태에 따른 폐기능을 비교하여(Table 3) 보아도 마찬가지로 type 1에서 type 5로 갈 수록 기도폐쇄가 심해지고 폐용적이 커지며 기도저항이 커지는 경향을 보였다.

Ulmer 등<sup>5)</sup>은 406명의 만성폐쇄성 기도질환(chronic obstructive airway disease) 환자의 body plethysmograph에서 얻어진 pressure-flow curve를 분석하여 type 0에서 type VII 까지 8가지 형태로 분석하였는데 이중 type 0와 I은 본 연구의 type 1, type II는 type 3, type IV는 type 4, type V는 type 5와 유사한 형태였으며, tracing상의 0 점에서 두 라인이 떨어져 벌어지는 모양인 type VI 및 VII은 각각 본 연구의 type 2 및 5의 반형된 모양이었으며, type 3는 8자 형태였다. 평균 기도저항은 type 0에서 V로 갈 수록 약 2.2 cmH<sub>2</sub>O/L/s에서 9.3 cmH<sub>2</sub>O/L/s로 점차 증가되었으며 ITG(intra thoracic gas volume)도 점차 증가되었고, 두 line 이 벌어지는 type VI와 VII은 air trapping이 현저하다고 하였다. Alpers와 Guyatt<sup>3)</sup>는 826명의 만성기관지염 환자의 curve를 분석하여 그중 77%가 linear 혹은 rectilinear한 형태, 9%가 sigmoid 형태, 8%가 호기시 looping을 보이는 형태, 이외 6%는 이상한 형태를 보였다고 하였다. 본 연구에서 분석된 만성기관지염 22예의 resistance curve는 linear(type 1) 형태가 5%, ovoid(type 2) 형태가 18%, sigmoid(type 3) 형태 5%, 명백히 loop을 보이는(type 4 or 5)형태 72%로 loop을 보이는 예가 현저히 많았는데(Table 1), Alpers와 Guyatt<sup>3)</sup>의 연구에서 loop이 없는 환자의 평균 FEV1은 3.03L, 평균 기도저항은 1.06cmH<sub>2</sub>O/L/s, loop이 있는 환자의 평균 FEV1은 2.09L, 평균 기도저항은 2.25

cmH<sub>2</sub>O/L/s임에 비하여 본 연구에서는 loop이 없는 환자의 평균 FEV1이 1.16L, 평균 기도저항은 7.61 cmH<sub>2</sub>O/L/s, loop이 있는 환자의 평균 FEV1이 0.93L, 평균 기도저항은 10.23cmH<sub>2</sub>O/L/s로 대상 환자의 기도폐쇄가 Alpers와 Guyatt 연구의 만성기관지염 환자에 비해 현저히 심하여 resistance curve 형태가 주로 loop이 있는 type 4와 5에 속하는 것으로 생각된다.

DuBois 등<sup>1)</sup>은 V/P<sub>A</sub> tracing상에서 볼 수 있는 변형으로 기도저항이 증가되어 있지 않은 정상인에서 S형의 curve를 보고하였는데 기도저항이 증가된 환자에서는 더하여 loop이 생길 수 있고 loop은 TV(tidal volume)이 증가된 경우와 호기시에 현저하다고 하였다. Brisco와 DuBois<sup>6)</sup>은 이러한 S형 line은 유속(flow rate)이 클때의 turbulence에 기인할 것이라고 시사한 바 있으며, Ulmer와 Reif<sup>7)</sup>는 기관지염이나 천식 환자에서 loop 형성이 현저하다고 보고하였다. Comroe 등<sup>8)</sup>은 숨 쉬는 pattern이 V/P<sub>A</sub> tracing에 영향을 줌으로 검사시에 호흡을 너무 약하거나 깊게, 또는 너무 빠르거나 느리게 하여서는 안되며 불을 불려서 숨을 쉬어도 안된다고 하였다. 따라서 V/P<sub>A</sub> tracing상에서 보여지는 resistance curve의 모양은 기도폐쇄, 호흡상태와 임상 질환 등 여러가지 요인에 의해서 영향을 받을 수 있는데 Alpers와 Guyatt<sup>3)</sup>은 이외에도 기계적인 요인으로 pneumotachograph의 종류, pressure transducer의 type 및 plethysmograph에서의 air leak 과 생물학적인 요인으로 온도와 습도, 기류의 turbulence 및 respiratory exchange ratio의 변화를 들었다. 흡기시의 공기는 기도로 들어가면서 대위되고 습해지나 호기시에는 차가워지고 습기를 잃으므로 TV이 흡기시에는 팽창하고 호기시에는 수축되어 loop이 형성될 수 있으므로 panting과 같이 작은 TV으로 빠르게 호흡을 하는 경우에는 이러한 요소를 감소시킬 수 있다고 하였다. Jaeger와 Bouhuys<sup>9)</sup>는 loop이 형성되는 원인을 생리적(physical)인 요인으로 기도내 공기의 inertance, 기하학적(geometric)인 요인으로 기도내 geometry의 주기적인 변화 및 body plethysmograph와 관련된 기계적인 요인들로 lung volume의 주기적 변화, respiratory exchange ratio의 주기적인 변화, 공기의 흡기 및 호기시 온도 차이, 폐내 compartment간 환기의 불 균형

(unequal time constances), recording channel의 unequal frequency response의 7가지로 설명하였는데, 공기의 inertance 이외 요인들은 panting 방법을 이용함으로써 줄일 수 있으므로 측정시에 panting 방법을 권하였다. 그러나 body plethysmograph가 발달되고 rebreathing bag을 부착시키거나 box내 온도 조절이 가능하게 됨에 따라 box 자체와 관련된 요인은 중요하지 않게 되었으며, 따라서 resistance curve의 형태는 기도 폐쇄의 정도나 호흡상태에 따라서 영향을 받을 것으로 생각된다.

여러 연구자들이 V/P<sub>A</sub> tracing상 호기시의 loop을 보고하였는데, Dubois<sup>11</sup>, McDermott와 Collins<sup>10</sup>은 폐쇄성 폐질환 및 기도저항이 높은 환자에서 주로 호기시의 loop을 볼 수 있으며 또한 McDermott는 정상 노년층과 pneumoconiosis 환자에서도 볼 수 있다고 하였고 Mead 등<sup>11</sup>은 폐기종 환자에서 특징적인 loop을 보인다고 하였다. 본 연구에서 resistance curve중 type 3(sigmoid)는 1예를 제외하고 호기 끝에, type 4(scoop)는 호기시에 loop을 형성하였으며, type 5(paisley)는 흡기시 부터 연결된 loop을 형성하였다(Fig. 1). 만성적인 기도폐쇄를 보이는 환자의 대부분이 type 3, 4 및 5에 속하였다. 전체 환자를 대상으로 resistance curve의 loop을 형성한 군과 loop을 형성하지 않은 군으로 나누어 비교하여 보았을때(Table 4), 평균 FEV1은 각각 42% 와 66%, 평균 RV은 210%와 141%, 평균 기도저항은 6.55 cmH<sub>2</sub>O/L/s, 4.60 cmH<sub>2</sub>O/L/s로 loop을 형성한 군이 기도폐쇄가 심하고 잔기량은 크며 기도저항은 현저히 높았다. V/P<sub>A</sub> tracing 상 호기시 loop을 형성하는 기전은 확실하지 않으나 Alpers와 Guyatt<sup>3)</sup>는 호기시에 기도가 비정상적으로 압축되어 허탈(collapse)되기 때문일 것으로 설명하여 호기시에 transmural pressure 즉 alveolar pressure(P<sub>A</sub>)가 주위 폐 조직의 elastic pressure를 초과하면 P<sub>A</sub>가 증가함에 따라서 기도(airway)가 점점 좁아지게 되며 P<sub>A</sub>가 더 증가하면 좁아진 기도 때문에 flow가 거의 일정하게 되며 호기 말에 P<sub>A</sub>가 떨어짐에 따라 처음에는 flow가 천천히 낮아지지만 좁아진 기도가 다시 열림에 따라 본래의 flow를 유지하게 되어 loop이 형성된다고 하였다. 그러므로 폐조직의 elasticity가 떨어진 폐기종과 같은 질환에서는 이

러한 현상이 더욱 현저할 것으로 생각된다. Mead 등<sup>11)</sup>은 식도압(esophageal pressure)을 측정하여 호기에 loop을 형성하는 폐기종 환자에서는 호기말에 주어진 공기의 유속을 유지하는데 필요한 압력이 흡기나 호기 초에 비하여 3배, 정상인에 비하여는 5배나 높다고 하였다. Mead와 Whittenberger<sup>12)</sup>는 아주 빠른 호기시에는 정상인에게서도 이러한 loop 형성을 볼 수 있다고 하였으며, Alpers와 Guyatt<sup>3)</sup>도 작은 TV으로 pating을 할때에 resistance curve에서 호기시 작은 loop을 볼 수 있다고 하였다. 저자 등<sup>13)</sup>은 이전의 연구에서 panting과 quiet breathing시의 airway resistance 측정을 비교하여 두 방법이 상관관계가 크나 panting시의 기도저항이 quiet breathing시에 비하여 약 20% 감소되며 quiet breathing이 정상적인 생리적인 호흡상태로 수행이 훨씬 쉬우므로 기도저항 측정시에 quiet breathing 방법을 권한 바 있으며, 현재 사용하는 body plethysmograph에서는 기계적인 요인은 무시할 수 있다고 생각되고 panting 시에는 호기시 정상인에게서도 loop이 형성될 수 있고 기도저항이 증가된 환자에서는 loop이 더욱 현저해져 resistance curve 모양을 비교하기가 좋지 않으므로 본 연구에서도 quiet breathing 방법을 택하였다. 따라서 V/P<sub>A</sub> tracing상 호기시 loop은 어떤 질환에 특징적이라기 보다는 경우에 따라서는 정상인에게서도 볼 수 있는 증가된 기도저항의 표시로 볼 수 있으며 기도 폐쇄의 임상적인 증거라고 할 수 있다.

결론적으로 기도저항을 측정할 경우 기도저항의 측정치 뿐 아니라 flow/alveolar pressure tracing 상의 curve를 분석하여 기도폐쇄 정도와 air trapping의 정도를 판단하는데 도움을 받을 수 있으며, resistance curve의 모양이 특정 질환에 특징적이지는 않았으나 호기시 loop이 형성되는 경우 심한 기도 폐쇄를 시사한다고 할 수 있다.

## 요 약

**연구배경:** 기도저항은 body plethysmograph를 이용하여 flow/alveolar pressure의 관계를 측정함으로써 얻어질 수 있는데, 기도저항이 정상인 경우 oscilloscope 상에서 얻어지는 resistance curve가 거의 linear 하나

증가된 경우에는 그 모양이 기울어지거나 loop을 형성하는 경우가 많아 이러한 curve를 분석하여 환자의 임상평가에 도움이 되는 결과를 얻고자 하였다.

**방법:** 기도저항이 증가되어 있는 환자를 대상으로 body plethysmograph에서 quiet breathing시에 얻어진 resistance curve의 형태를 분석하여 폐기능을 비교하였다.

#### 결과:

1) Resistance curve는 type 1: linear, type 2: ovoid, type 3: sigmoid, type 4: scoop, type 5: paisley의 5가지 형태로 구분할 수 있었으며, 1예를 제외한 type 3과 type 4 및 5는 loop을 형성하였다.

2) Curve의 형태가 특정 질환에 특징적이지는 않았으나 급성질환은 주로 type 1, 및 2, 만성기류폐쇄는 주로 type 3, 4 및 5에 속하였으며, 기관지 천식이나 오래된 폐결핵은 그 정도에 따라 type 1에서 5까지의 형태를 모두 보였다.

3) Type 1에서 type 5로 갈 수록, loop을 형성할 수록 기도폐쇄가 심하고 기도저항이 증가되며 잔기량이 커지는 경향을 보였다.

**결론:** 기도저항을 측정할 경우 기도저항의 측정치 뿐만 아니라 resistance curve를 분석하여 기도폐쇄와 air trapping의 정도를 판단하는데 도움을 얻을 수 있으며, resistance curve의 모양이 특정 질환에 특징적이지는 않았지만 호기시 loop이 형성되는 경우 심한 기도폐쇄를 시사하였다.

#### 참 고 문 헌

- 1) DuBois AB, Botelho SY, Comroe JH: A new method for measuring airway resistance in man using a body plethysmography: Values in normal subjects and in patients with respiratory disease. J Clin Invest **35**:327, 1956
- 2) Jaeger MJ, Otis AB: Measurement of airway resistance with a volume displacement body plethysmograph. J Appl Physiol **19**:813, 1964
- 3) Alpers JH, Guyatt AR: Significance of a looped

appearance of the flow: Alveolar pressure relationship of the lung as examined by the whole body plethysmograph. Clin Sci **33**:1, 1967

- 4) Burrows B: Airway obstructive diseases: pathogenetic mechanisms and natural histories of the disorders. Med Clin North Am **74**:547, 1990
- 5) Ulmer WT, Marek W, Rasche K: Stromungswiderstandskurven bei obstruktiven atemwegserkrankungen. Fortschr Med **106**:663, 1988
- 6) Brisco WA, DuBois AB: The relationship between airway resistance, airway conductance and lung volume in subjects of different age and body size. J Clin Invest **37**:1279, 1958
- 7) Ulmer WT, Reif E: Die obstruktiven erkrankungen der atemwege. Dtsch Med Wschr **90**: 1803, 1965
- 8) Comroe JH, Botelho SY, DuBois AB: Design of a body plethysmograph for studying cardiopulmonary physiology. J Appl Physiol **14**:439, 1959
- 9) Jaeger MJ, Bouhuys A: Loop formation in pressure vs. flow diagrams obtained by body plethysmographic technique. In Progr Respir Res, vol 4: Body plethysmography, p116, Basel, Karger, 1969
- 10) McDermott M, Collins MM: Acute effects of smoking on lung airway resistance on normal and bronchitis subjects. Thorax **20**:562, 1965
- 11) Mead J, Lindgren I, Gaensler EA: The mechanical properties of the lungs in emphysema. J Clin Invest. **34**:1005, 1955
- 12) Mead J, Whittenburger JL: Physical properties of human lungs measured during spontaneous respiration. J Appl Physiol **5**:779, 1953
- 13) 천선희, 이우형, 이기용, 김세규, 장준, 김성규, 이원영: Panting 및 quiet breathing시 airway resistance 측정의 비교. 결핵 및 호흡기 질환 **40**(3): 267, 1993