

# Body Plethysmograph 방법과 폐쇄식회로법으로 측정한 기능적잔기량의 비교

가톨릭의과대학 예방의학교실

정 치 경

=Abstract=

## A Comparison of Thoracic Gas Volume measured by Body Plethysmographic Method and Functional Residual Capacity measured by Closed Circuit Method

Chee Kyung Chung

*Dept. of Preventive Medicine, Catholic Medical College, Seoul, Korea*

By using Siregnost FD 91 body plethysmograph, we measured thoracic gas volume (TGVe) at end of expiration in 19 healthy subjects aged 20-43 years in order to compare with functional residual capacity (FRC) measured by closed circuit method.

The results obtained were as follows

1. Mean values of TGVe and FRC were  $3.395 \pm 0.585l$ , and  $3.398 \pm 0.618l$ , respectively.
2. A advantage of the body phethysmographic method for measuring thoracic gas volume was that it were rapid, safe, and easy to perform, requires no gas sample for chemical analysis, and measured TGVe several times.

### I. 서 론

폐기능검사에 있어서 전 폐용량을 측정하는데는 폐활량과 더불어 잔기량 및 기능적잔기량을 측정하게 된다.

기능적잔기량을 측정하는데는 일반적으로 두가지 방법이 있다. 즉 과거에 희석법(dilution method)인 폐쇄식회로법(closed circuit method)과 개방식회로법(open circuit method)이 주로 많이 이용되어 왔는데 최근에 와서 물리적방법(physical method)의 특수한 측정장치에 의한 방법이 개발되었다.

후자인 물리적방법은 피검자폐포의 압력과 용적의 변화를 Boyle 법칙에 이용하여 폐용적을 측정하는 것으로서 이 방법에도 두가지가 있다. 그 하나는 감압법(dec-compression method)으로서 정상인과 실험동물을 대상으로 측정할 많은 연구업적이 있으나<sup>1)2)3)4)</sup> 이는 폐포내 공기가 기도와 통하여 있지 않은 폐용적은 측정되지 못하는 단점을 가지고 있다.

또 다른 방법은 폐포공기를 의식적으로 감압과 증압

시키는 방법으로서 1882년 Pflüger<sup>5)</sup>가 그 원리를 제창한 것이다. 즉 이방법은 피검자가 기밀실(body plethysmographic chamber)내에서 호흡시 기도를 shutter로 막고 의식적으로 정상호흡시와 같은 호흡운동을 시킬때 호흡근육의 작용으로 생기는 폐포내 압력과 용적의 변화를 측정하여 폐용적을 산출해내는 방법으로서 기도와 통하여 있지않은 폐용적도 측정할 수 있는 것이다. 그 후 DuBois등<sup>6)</sup>이 이 방법을 발전시켜서 기도저항과 폐용적에 대한 많은 연구업적을 보고하였는데<sup>6)7)8)</sup> 우리나라에서도 저자가 처음으로 이 측정기구를 사용할 수 있게 되었기에 새로운 방법인 body phethysmograph 방법과 이제까지 주로 사용되어 왔던 폐쇄식회로법으로 측정된 기능적 잔기량을 비교검토한 것이다.

### II. 실험대상 및 방법

#### 1. 실험대상

피검자로서는 신체검사에서 이상이 없고 특히 호흡기계통의 질환이 없는 20세부터 43세까지의 건강한 성인

THORACIC GAS VOLUME

BOYLE'S LAW ·  $PV = P'V'$

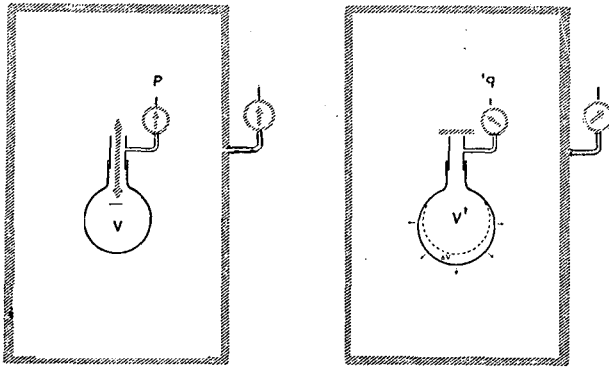


Fig. 1. Measurement of Thoracic gas Volume:  
Body Plethysmograph Technique

The rectangle represents the air-tight body plethysmograph. The patient (as he often appears to a pulmonary physiologist) is represented simply as his alveoli and conducting airway; V is the gas volume to be measured, and  $\Delta V$  (right side) is the increase of volume when the patient inspires with airway occluded. The two circles with pointers represent pressure gauges—one measuring airway pressure and the other, plethysmographic pressure. (See text) P' is the pressure corresponding to the new volume, V', which is  $V + \Delta V$ .

남자 19명을 택하였다.

2. 실험방법

가) body plethysmograph 방법

body plethysmograph 방법에 의한폐용적의 측정원리는 피검자가 기밀실내에서 호흡시 생기는 폐포압력과 용적의 변화를 Boyle 법칙에 의하여 측정할 것이다. 즉 피검자가 기밀실내에 들어가 앉은후 문을 닫고서 호흡시 호출말기나 흡입말기에는 공기가 폐포내를 흐르지않게 되므로 폐포압력(P)은 대기압과 같으며 폐용적(V)은 우리가 알고자 하는 용적이다. 다음에 공기의 흡입구를 shutter로 막아 공기가 폐포밖으로 새어나가지 못하게 하고서 피검자로 하여금 의식적으로 호흡운동을 시키면 폐포내 새로운 압력(P')과 용적(V')이 생긴다. 이때 피검자의 성문(glottis)은 열려있으면서 공기가 흐르지 않으므로 폐포압력과 구강압력은 같아지므로 폐포압력의 변화는 구강압력으로 측정할수 있으며 폐용적의 변화는 기밀실의 용적으로 측정할수 있다. 따라서 Boyle 법칙에 의하여 ( $P \cdot V = P' \cdot V'$ ) 폐용적을 계산해내는 것이다(그림 1).

본 실험에 사용한 기밀실의 내부용적은 880l이며 문을 닫으면 공기가 밖으로 새어나오지 못하도록 만들어져 있는 서독 Siemens Siregnost FD 91 body plethys-

mograph (그림 2,3)로서 Weitowitz and Buchheim<sup>9)</sup> 방법으로 3회이상 측정하여 그 평균치를 택하였다.

자세한 측정방법은 다음과 같다.

즉 피검자를 기밀실내의 의자에 앉히고 문을 닫으면 피검자의 체온과 수분으로 기밀실내압력은 급격히 상승하므로 valve를 열어서 외부와 공기를 통하게 하여 정상압력으로 된후에 valve를 막아 외부와 공기가 통하지 못하도록 하는데 2~3분이 걸린다. 그리고 나서 피검자에게 nose clip을 착용케하고 mouth piece를 물리

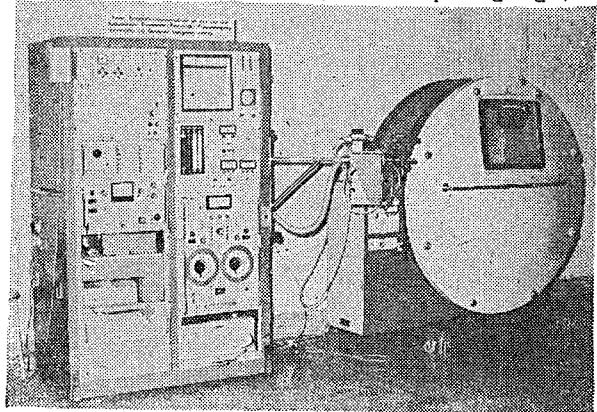


Fig. 2. Siregnost FD 91 lung function monitor with body plethysmograph

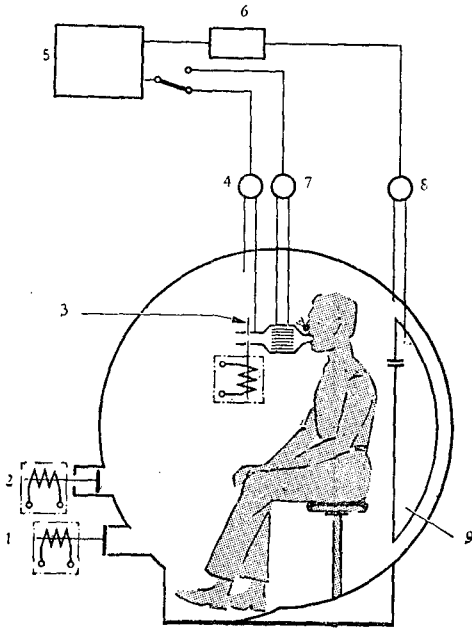


Fig. 3. Diagram of body plethysmograph

- 1: Valve
- 2: Calibration unit
- 3: Shutter
- 4: Mouth pressure sensor
- 5: X-Y recorder
- 6: FT compensation computer
- 7: Respiratory flow sensor
- 8: Chamber pressure
- 9: Pressure compensation vessel

고 나서 정상호흡시 호출말기에 공기의 흡입구를 shutter로 전기적으로 막고서 피검자로 하여금 정상호흡시와 같은 호흡운동을 시키면 호흡근육의 작용으로 폐포내에 새로운 압력과 용적이 생긴다. 이들을 X-Y 기록표상에 기록하되 폐포압력의 변화는 구강압력(mouth pressure)으로 Y축에, 폐포용적의 변화는 기밀실용적의 변화로 X축에 기록되며 두 측정치간의 비  $\Delta P_{alv}/\Delta V_k$ (alveolar pressure/chamber pressure)는 기울기를 나타낸다. 이때 Y축의 1cm는 10cm H<sub>2</sub>O의 폐포압력의 변화를, X축의 1cm는 40ml의 기밀실내용적 변화를 나타내게끔

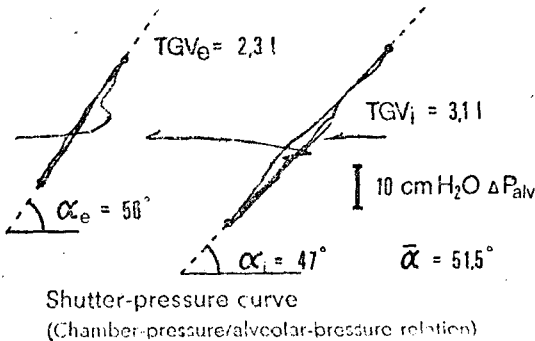


Fig. 4. Shutter pressure curve for calculating the thoracic gas volume

보정하였다(그림 4).

폐용적의 계산방법

shutter pressure curve에서 기울기의 한점은 처음의 폐포압력과 용적을 나타내며 또 한점은 shutter로 공기의 흡입구를 막은 후의 폐포압력과 용적의 변화를 나타내고 있으므로 처음의 폐포압력과 용적을 P, V로, 나중의 폐포압력과 용적을 P+ΔP, V+ΔV로 표시하면 Boyle 법칙에 의하여 다음과 같은 식이 성립된다.

$$PV = (P + \Delta P)(V + \Delta V) \quad (1)$$

(1)을 풀면

$$PV = PV + P\Delta V + V\Delta P + \Delta P\Delta V$$

$$P\Delta V + V\Delta P + \Delta P\Delta V = 0$$

$$V = \frac{\Delta V}{\Delta P}(P + \Delta P) \quad (2)$$

(2)에서 V는 구하고자하는 폐용적(thoracic gas volume: TGV)이며, P는 대기압에서 수증기분압을 뺀 것이며, ΔP는 폐포압력의 변화로서 P에 비하여 매우 적으므로 무시할수 있으며, ΔV는 폐포용적의 변화로서 기밀실내 용적(ΔV<sub>k</sub>)으로 표시되므로

$$TGV = \frac{\Delta V_k}{\Delta P_{alv}}(P_B - P_{H_2O}) \quad (3)$$

이 된다.

(3)에 보정계수와 피검자가 기밀실내에 들어갔을때 용적의 변화  $(\frac{V_k - 1.1}{V_k})$ 를 가산하고  $\frac{\Delta V_k}{\Delta P_{alv}}$ 는 shutter pressure curve에서 cot α로 표시되므로 폐용적은 다음과 같은 식에 의하여 산출한다.

$$TGV = (P_B - P_{H_2O}) \cdot \cot \alpha \cdot k \cdot \frac{V_k - 1.1}{V_k}$$

TGV: 폐용적(thoracic gas volume) ml

P<sub>B</sub>: 대기압 760mm H<sub>2</sub>O

P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>: 수증기의 분압 47mmH<sub>2</sub>O

α: 폐포압력/기밀실용적의 기울기

k: 보정계수 5.42ml/mmHg

V<sub>k</sub>: 기밀실의 용적 880l

W: 피검자의 체중 kg

나) 폐쇄식회로법(closed circuit method)

Christie<sup>10)</sup> 방법에 의한 본 실험은 피검자를 의자에 앉히고 안정을 취한후 nose clip을 착용시키고 mouth piece를 물고서 산소가스가 들어있는 Douglas bag의 폐쇄식회로를 7분간 호흡시키는 동안 폐포내와 Douglas bag내의 N<sub>2</sub>가스가 혼합되어 평형을 이루는 N<sub>2</sub>가스농도를 가지고 기능적잔기량을 산출하였다.

가스용량과 분석은 Wet Test Gas Meter와 Haldane

**Table 1.** Comparison of resting end-expiratory thoracic gas volume measured by body plethysmographic method and FRC measured by closed circuit method in normal subjects

No. of Subjects	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	TGVe (plethysmographic) (l)	FRC (closed circuit) (l)	TGVe-FRC (l)
1	21	167.0	48.5	3.74	3.46	+0.28
2	33	161.0	61.5	2.54	2.86	-0.32
3	27	162.5	50.5	2.87	3.25	-0.38
4	27	174.0	57.0	3.92	3.38	+0.54
5	29	167.0	66.0	2.71	2.91	-0.20
6	32	178.0	68.0	4.58	4.77	-0.19
7	42	174.5	69.5	3.71	4.21	-0.50
8	43	179.0	64.5	3.84	3.26	+0.58
9	35	169.0	71.0	3.63	3.97	-0.34
10	37	168.5	72.0	3.35	3.17	+0.18
11	38	161.0	62.0	2.50	2.41	+0.09
12	26	163.0	48.5	3.44	3.36	+0.08
13	26	169.0	54.0	3.13	2.66	+0.47
14	27	165.0	60.5	3.00	3.23	-0.23
15	25	168.0	54.0	3.95	4.18	-0.23
16	20	161.5	49.5	2.27	2.22	+0.05
17	25	167.0	60.5	3.28	3.59	-0.31
18	25	170.0	53.0	4.10	3.75	+0.35
19	35	176.0	55.0	3.95	3.93	+0.02
Mean	30.2	168.5	59.2	3.395	3.398	0.003
S. D.	6.9	6.3	8.0	0.585	0.618	0.335

Gas Analyzer 를 사용하여 3회 실시하여 그 평균치를 BTPS 로 보정하였다.

### Ⅲ. 실험 성적

피검자의 연령 및 체격과 body plethysmograph 방법으로 측정된 호출말기 폐용적(TGVe)과 폐쇄식회로법으로 측정된 기능적잔기량(FRC)은 다음 제 1 표와 같다.

피검자는 모두 건강한 성인남자들로서 평균연령, 신장 및 체중은 각각 30세, 163.5cm 및 59.2kg 이다.

body plethysmograph 방법으로 측정된 호출말기 폐용적의 평균치는  $3.395 \pm 0.585$  l 이며 폐쇄식회로법으로 측정된 기능적잔기량의 평균치는  $3.398 \pm 0.618$  l 이고 양 측정치간의 차이의 표준편차는 0.335 l 이다.

### Ⅳ. 고 찰

입상의학이나 생리학분야에 있어서 전폐용량의 측정

은 폐활량과 같이 기능적잔기량을 측정하므로써 이차적으로 폐섬유증으로 오는 폐용량의 변화와 호흡기질환자에 있어서의 잔기량대 전폐용량비의 증가를 관찰할수 있다.

폐활량은 spirometer 로서 간단하게 빨리 측정할수 있으나, 기능적잔기량은 주로 회석법인 폐쇄식회로법과 개방식회로법을 이용하여 측정하므로 가스분석등 조작이 복잡하며, 여러번 반복하여 측정키 곤란한 점도 있고, 피검자에게 부담감을 주며, 한번측정에 20여분의 시간이 걸리는등의 단점이 있다.

새로운 방법인 body plethysmograph 을 사용하며 호출말기 폐용적(TGVe)을 측정하는 것이 회석법보다 좋은 점은 5분내에 3~4번 측정할수 있으며, 피검자에게 부담감을 주지 않으며 가스분석이 필요없으며, 여러번 반복하여 측정할수 있으며, 조작이 간단한점 이외에 기도저항(airway resistance)<sup>1)</sup> 복강용적(abdominal gas volu-

me)<sup>12)</sup> 및 폐모세혈관의 혈류(pulmonary capillary blood flow)<sup>13)</sup> 등도 같이 측정할수 있는 점이다.

DuBois등<sup>7)</sup>이 정상인 남자 6명과 여자 3명을 대상으로 실험한바에 의하면 body plethysmograph 방법으로 측정한 TGVe와 개방식회로법으로 측정한 기능적잔기량의 평균치는 2.97l로서 같은 수치였고 양측정치간의 차이의 표준편차는 0.22l이었는데 비하여 본실험에서는 body plethysmograph 방법으로 측정한 TGVe와 폐쇄식회로법으로 측정한 기능적잔기량의 평균치는 각각 3.395l, 3.398l이었고 양측정치간의 표준편차는 0.335l이었다. 한편 정상인에 있어서는 양측정치간에 거의 같은 수치를 나타내고 있으나 호흡기질환 특히 폐기종이나 기관지천식증 환자에서는 body plethysmograph 방법으로 측정한 폐용적이 더 높은 수치를 나타낸다고 한다. 이는 회색법에서는 폐포공기가 기도와 통하며 있지 않은 공기량은 측정되지 못하는데 비하여 body plethysmograph 방법은 기도와 통하지 않은 공기량도 측정되기 때문이다.<sup>11)</sup> 따라서 호흡기질환자에서의 기능적잔기량은 body plethysmograph 방법으로 측정하는 것이 보다 의의가 있는 것이다.

## V. 결 론

20세부터 43세에 이르는 건강한 성인 남자 19명에 대하여 body plethysmograph 방법과 폐쇄식회로법으로 측정한 기능적잔기량을 비교검토한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Body plethysmograph 방법으로 측정한 호출말기 폐용적과 폐쇄식회로법으로 측정한 기능적잔기량은 각각  $3.395 \pm 0.585l$ ,  $3.398 \pm 0.618l$ 로써 거의 같은 수치를 보이고 있다.

2. 폐쇄식회로법보다 body plethysmograph 방법은 측정시간이 짧으며 여러번 반복하며 측정할수 있고 가스 분석이 필요없으며 조작이 간단한 여러가지 이점을 가지고 있다.

## 참 고 문 헌

1) Willmon T. L. and Behnke, A. R. : *Residual lung volume determinations by the methods of helium substitution and volume expansion. Am. J. Physiol.* 153:138, 1938.  
 2) DeJours, P. and Rhan, H. : *Residual volume measurements by the gas expansion method and nitrogen dilution method. J. Appl. Physiol.* 5:445,

1953.  
 3) Nisell, D. I. and DuBois, A. B. : *Relationship between compliance and FRC of the lungs in cats and measurement of resistance to breathing. Am. J. Physiol.* 178:206, 1954.  
 4) Harvey, R. B. and Schilling, J. A. : *Measurement of lung volume by rapid decompression. J. Appl. Physiol.* 7:496, 1955.  
 5) Pflüger, E. : *Das pneumometer. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol.* 29:244, 1882.  
*cited from a rapid plethysmographic method for measuring thoracic gas volume; A comparison with a nitrogen washout method for measuring functional residual capacity in normal subjects. J. Clin. Invest.* 35:322, 1956.  
 6) DuBois, A. B., Botelho, S. Y. and Comroe, J. H. Jr. : *A new method for measuring airway resistance in men using a body plethysmograph; Values in normal subjects and in patient with respiratory disease. J. Clin. Invest.* 35:327, 1956.  
 7) DuBois, A. B., Botell, G. N., Marshall, R. and Comroe, J. H. Jr. : *A rapid plethysmographic method for measuring thoracic gas volume; A comparison with a nitrogen washout method for measuring functional residual capacity in normal subjects. J. Clin. Invest.* 35:522, 1956.  
 8) Pelzer, A. M. and Thomson, M. L. : *Effect of age, sex, stature and smoking habits on human airway resistance. J. Appl. Physiol.* 21:469, 1966.  
 9) Woitowitz, H. J. and Buchheim, F. W. : *Determining the airway resistance by means of body plethysmography. Electromedica., p. 40, February, 1968.*  
 10) Christie, R. V. : *Lung volume and its subdivisions. I Methods of measurement. J. Clin. Invest.* 11:1099, 1932.  
 11) Comroe, J. H. Jr., Forster, R. E., DuBois, A. B., Briccoe, W. B. and Carlsen, E. : *The lung; Clinical physiology and pulmonary function tests. 2nd edition, p. 19. Year Book Medical publishers, Inc., Chicago, 1967.*  
 12) Bedell, G. N., Marshall, R., DuBois, A. B. and Harris, J. H. : *Measurement of the volume of gas*

- in the gastro-intestinal tract. - Values in normal subjects and ambulatory patients. J. Clin. Invest.* 35:336, 1956.
- 13) Lee, G. de J. and DuBois, A. B. : *Pulmonary capillary blood flow in man. J. Clin. Invest.* 34:1380, 1955.
-