

만성기도폐쇄를 보이는 환자에서 환기성역치 측정

단국대학교 의과대학 내과학교실

이계영·지영구·김건열

= Abstract =

Measurement of Ventilatory Threshold in the Patients with Chronic Airway Obstruction

Kye Young Lee M.D., Young Koo Jee M.D., Keun Yeol Kim M.D.

Department of Internal Medicine, College of Medicine, Dankook University, Chunan, Korea

Background : There are many suggested methods for the indirect determination of anaerobic threshold(AT) using the changes of ventilatory parameters in responses to ventilatory load accompanying the increase of blood lactic acid level during exercise and the threshold derived from them is called ventilatory threshold(VT). They include ventilatory equivalent method(VEM), End-tidal PO_2 method(PETO₂), V-slope method(VSM), and respiratory quotient method(RQ). But in the patients with chronic airway obstruction(CAO), the AT determined by ventilatory methods may not reflect true AT because the patients with CAO show inadequate ventilatory response to the increase of blood lactic acid level during exercise.

Methods : For the investigation of detection rate and reliability of above four VT determination methods in the patients with CAO, we performed the symptom-limited and maximal incremental exercise test in 17 patients with CAO and 12 normal controls. The incremental workload was 10 W/min in CAO group and 25 W/min in control group. The reliability of VT in each group was investigated by the calculation of Spearman correlation coefficient.

Results : The detection rates of VT were 100% by RQ, 91.7% by both VEM and PETO₂, and 83.3% by VSM in normal control group, while 94.1% by RQ, 64.7% by VEM and PETO₂, and 83.3% by VSM in CAO group. Good correlations were noted among VEM, PETO₂, and VSM except RQ in normal control group. But there was no significant correlation except between VEM and PETO₂ in CAO group.

Conclusions : RQ is very sensitive but crude and VEM is near similar to PETO₂. The clinical usefulness of VT determined by ventilatory method might be limited in patients with severe CAO.

Key Words : Ventilatory threshold, Chronic airway obstruction

서 론

무산소역치(AT: anaerobic threshold)란 Wasserman과 McIlroy에¹⁾ 의해 처음 제창된 용어로서 운동중 발생하는 호기성대사에서 혐기성대사로의 전환 시점을 지칭한다. 무산소역치는 정상인에서 운동에 대한 신체 적응도와 유산소 훈련효과 측정의 지표로 이용되며,²⁾ 만성폐쇄성폐질환자에서는 적절한 운동처방을 결정하는데 중요한 지침이 된다.^{3, 4)} 이러한 무산소역치의 광범위한 유용성에도 불구하고 무산소역치가 정말로 근육 수준에서 혐기성대사의 발생을 반영하는지에 대해서는 상당한 이견이 있는 상태이며⁵⁾, 보다 실질적인 문제로서 무산소역치를 측정하는 최선의 길이 무엇인가라는 방법론적인 문제가 대두되어 왔다.

무산소역치를 측정하는 직접적인 방법으로는 혈중 유산치를 측정하는 것이 표준 방법으로 알려져 있고 이를 유산역치(LAT: lactic acid threshold)라 하는데, 이는 관혈적 방법이라는 한계점이 있다.⁶⁾ 한편 운동시 증가하는 혈중 유산농도의 증가에 따른 대사성 산혈증을 보상하기 위해 발생하는 중탄산염의 완충작용과 이에 수반되는 이산화탄소 생성의 증가로 환기가 비선형적으로 급속히 증가하게 되는데, 이러한 운동부하시 혈중 유산농도 증가에 수반되는 환기적 부하에 반응하는 여러 환기적 또는 가스교환 지표의 변화에 의해 비관혈적으로 결정되는 무산소역치를 환기성역치(VT: ventilatory threshold) 혹은 가스교환 무산소역치(ATge: gas exchange anaerobic threshold)라고 한다.⁹⁾

환기성역치를 측정하는 방법으로는 첫째, 이산화탄소 환기당량($EqCO_2 = VE/VCO_2$)의 증가 없이 산소 환기당량($EqO_2 = VE/VO_2$)이 체계적으로 증가하는 시점에서 결정되는 환기당량법(ventilatory equivalent method)^{8, 9)}, 둘째, 종말호기 이산화탄소분압($PETCO_2$)의 감소 없이 종말호기 산소분압($PETO_2$)이 체계적으로 증가하는 시점에서 결정되는 종말호기 산소분압법(End-tidal PO_2 method)^{8, 9)}, 셋째, Beaver 등이 제창한 VO_2 와 VCO_2 를 양측으로 하여

그린 도표에서 컴퓨터를 이용한 두 분절의 선형회귀분석에 의해 결정되는 V-경사법(V-slope method)¹⁰⁾ 등이 있으며, 넷째로는, 유산의 중탄산염 완충에 의해 생성되는 이산화탄소로 인하여 산소섭취의 증가에 비해 이산화탄소 배출이 불균형적으로 증가하므로 호흡지수(RQ: respiratory quotient = VCO_2/VO_2)도 환기성역치의 하나로 이용될 수 있다는 의견도 있어^{11, 11)}, 이를 포함한 이상 네가지 방법 등이 현재 알려져 있다.

그러나 이미 환기장애가 초래되어 있는 만성기도폐쇄를 보이는 환자에서는 최대 1분환기량이 심하게 감소되어 있을 수도 있고^{12, 13)}, 동맥혈 이산화탄소 분압이 증가함에 따라 증가하는 환기 반응에 장애가 있음이 흔히 관찰되므로¹⁴⁻¹⁶⁾ 무산소역치를 측정하는데 있어서 환기성역치를 이용하는 것은 그 정확성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이에 저자들은 상기한 네가지 환기성역치 측정 방법들에 의해 결정된 각 환기성역치를 정상인과 만성기도폐쇄를 보이는 환자에서 비교함으로써 환기장애가 초래되어 있는 만성기도폐쇄 환자에서도 환기성역치 측정이 신뢰도가 있는지 확인하고자 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

1. 대 상

대상환자는 17명의 만성기도폐쇄군과 12명의 정상대조군으로 구성되었다. 만성기도폐쇄군은 그 원인 질환으로써 만성폐쇄성폐질환이 9명, 비활동성 중증결핵에 의한 폐실질파괴에 의한 경우가 5명, 기관지확장증이 3명이었다. 중등도 및 심한 기도폐쇄($35\% \text{ pred.} < FEV_1/FVC < 65\% \text{ pred.}$)를 보이는 환자를 대상 환자로 설정하였으며 모두 남자이고 평균연령은 58.8 ± 9.0 세였다(Table. 1). 최근 3개월 이내에 급성악화된 병력이 없었으며 당뇨병, 고혈압, 심부전 등과 같은 전신질환을 가진 환자는 제외하였다. 검사 당시 theophylline제제와 베타-2-교감신경항진제는

지속적으로 경구 혹은 흡입으로 유지할수 있었으나 산소흡입, digitalis 및 이뇨제를 복용하고 있는 환자는 제외하였다.

정상대조군은 12명의 자원한 단국대학교병원 내과 전공의와 실습학생들로서 모두 남자였으며 평균연령은 27.3 ± 4.5 세였으며 spirometry를 이용한 폐기능 검사상 모두 정상 소견을 보였다 (Table 1).

2. 방 법

1) 운동부하검사

운동부하검사는 독일 Jaeger사의 Oxycon Champion system (Version 3.2)의 bicycle ergometer를 이용하여 시행하였다. 검사는 적어도 식후 2시간 이후에 실시하였고 운동 프로토콜은 증상 제한적 점진적 최대운동부하검사 (symptom-limited incremental maximal exercise test)를 채택하였다. 구체적인 운동 프로토콜은 1분간의 안정기를 갖고 1분간의 공회

전기 (free-wheeling period)로 운동을 시작한 후 운동부하를 점진적으로 증가시켰다. 정상대조군에서는 1분에 25 W씩을, 만성기도폐쇄군에서는 1분에 10 W씩을 각각 증가시키면서 운동을 지속하는데 운동을 지속할 것을 두려하지는 않았으며 운동 시작전 설명한 바와 같이 본인이 할 수 있는 최대 수준까지 운동을 지속한 후 호흡곤란, 흉통, 하지 피로 혹은 동통 등 운동을 지속할 수 없는 증상이 발생하면 본인 스스로 운동을 중단하는 증상 제한적 프로토콜을 시행하였다. 운동중단 의사를 표시하면 즉시 운동부하를 공회전 수준으로 낮추어 5분간의 회복기를 가진 후 검사를 종료하였다. 검사 중 Triple V volume transducer에 부착된 TwinTube를 통해 시료가 채취되면 흡기 및 호기시의 유속은 pneumotachograph에 의해 측정되고 가스 분석기에 의해 산소 및 이산화탄소의 가스 분압이 측정되는데 컴퓨터 분석 프로그램에 의해 각 호흡별 자료분석이 가능하다. 실제 자료는 8회 호흡수의 평균치로서 산출하였다.

Table 1. Demographic data of cases and controls

	Control	CAO*
Age (years)	27.3 ± 4.5	58.8 ± 9.0
Height (cm)	172.1 ± 4.0	166.1 ± 5.8
Weight (kg)	69.8 ± 5.4	60.2 ± 10.5
BSA (m ²)	1.82 ± 0.08	1.67 ± 0.14
FVC (L)	4.82 ± 0.38	3.05 ± 0.54
FVC (%pred)	99.2 ± 5.7	82.7 ± 14.0
FEV ₁ (L)	4.12 ± 0.39	1.54 ± 0.58
FEV ₁ (%pred)	100.0 ± 6.8	52.9 ± 20.3
FEV ₁ /FVC (%)	85.5 ± 5.2	49.7 ± 12.9
FEF _{25-75%} (L/sec)	4.59 ± 0.99	0.73 ± 0.48
FEF _{25-75%} (%pred)	94.2 ± 19.0	22.1 ± 14.6
DLCO (ml/min/mmHg)	—	13.8 ± 3.80
DLCO (%pred)	—	57.1 ± 10.2
PaCO ₂ (mmHg)	—	39.4 ± 5.0
PaO ₂ (mmHg)	—	83.0 ± 12.4

*CAO : chronic airway obstruction group

2) 환기성 역치 측정

서론에서 기술한 바와 같이 환기당량법, 종말호기 산소분압법, V-경사법, 호흡지수법 등 네가지 방법에 의해 각각 환기성 역치를 결정하였다. 환기당량법은 이산화탄소 환기당량과 산소 환기당량을 각각 Y_1 , Y_2 의 축으로 하는 도표에서 이산화탄소 환기당량 ($EqCO_2 = VE/VCO_2$)의 증가 없이 산소 환기당량 ($EqO_2 = VE/VO_2$)이 최저점을 이루고 체계적으로 증가하는 시점에서 결정하였다. 종말호기 산소분압법은 종말호기 이산화탄소분압과 종말호기 산소분압을 각각 Y_1 , Y_2 의 축으로 하는 도표에서 종말호기 이산화탄소분압 ($PETCO_2$)의 감소 없이 종말호기 산소분압 ($PETO_2$)이 최저점을 이루고 체계적으로 증가하는 시점에서 결정하였다. V-경사법은 VO_2 와 VCO_2 를 양 축으로 하여 그린 도표에서 컴퓨터를 이용한 두 분절의 선형회귀분석에 의해 결정하였다. 호흡지수법은 RQ (respiratory quotient= VCO_2/VO_2)가 1.0 미만에서 서서히 증가하다가 처음으로 1.0에 이르는 시점에서 결정하였으며 처음부터 RQ가 1.0 이상인 경우는 환기성역치가 없는 것으로 결정하였다.

3) 자료분석

정상대조군과 만성기도폐쇄군의 양군에서 상기한 네 가지 환기성역치 측정 방법이 갖는 신뢰도(reliability)를 비교하기 위하여 각 군별로 각 방법들간에 Spearman 상관계수를 구하였고 유의성 판정은 p-value 0.05미만에서 유의한 것으로 평가하였다.

결 과

최대운동부하검사 결과 Table 2와 같이 정상대조군의 최대운동부하는 192 ± 18 W, 만성기도폐쇄군에서는 71 ± 22 W로 유의한 차이 ($p < 0.05$)를 보였으며, 최대산소섭취량도 정상대조군에서 2512 ± 321 ml/min로 예측치의 $74.8 \pm 7.9\%$, 만성기도폐쇄군에서 931 ± 22 ml/min로 예측치의 $56.8 \pm 16.6\%$ 로 유의한 차이 ($p < 0.05$)를 보였다. 이 외에 만성기도폐쇄군에서는 호흡예비율이 12.8 ± 10.3 L/min, 심박수 예비율이 52.4 ± 20.9 beats/min, 최대 심박산소(max O_2 -pulse) 7.8 ± 1.6 ml/beat로서 정상대조군의 호흡예비율 27.2 ± 12.7 L/min, 심박수 예비율 27.4 ± 12.8 beats/min, 최대 심박산소 (max O_2 -pulse) 11.5 ± 3.7 ml/beat보다 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

Table 2. Maximal exercise data of cases and controls

	Control	CAO*
Wmax (W)	192 ± 18	71 ± 22
VO_{2max} (ml/min)	2512 ± 321	931 ± 22
VO_{2max} (%pred)	74.8 ± 7.9	56.8 ± 16.6
$VO_2/kgmax$ (ml/kg/min)	29.2 ± 4.1	16.1 ± 3.5
VCO_{2max} (ml/min)	2821 ± 4.7	1106 ± 327
VE_{max} (L/min)	67.3 ± 12.9	37.3 ± 10.7
BR (L/min)	27.4 ± 12.7	12.8 ± 10.3
HRmax (beats/min)	165.2 ± 12.4	121.1 ± 21.6
HRR (beats/min)	27.2 ± 12.8	52.4 ± 20.9
max O_2 -pulse (ml/beat)	11.5 ± 3.7	7.8 ± 1.6

*CAO : chronic airway obstruction group

Table 3과 Table 4는 네가지 환기성역치 측정방법에 의해 결정된 정상 대조군과 만성기도폐쇄군에서의 각각의 환기성역치에서의 산소섭취량이다. 전반적으로 양군 모두에서 환기당량법, 종말호기 산소분압법, V-경사법 등은 비교적 근사한 수치를 보이고 있으나 호흡지수법에 의한 환기성역치와는 상당한 차이를 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 각 방법들에 의한 환기성역치를 확인할 수 있는 검출율은 정상대조군에서 호흡지수법이 100%, 환기당량법과 종말호기 산소분압법이 91.7%로 같은 빈도를 보였고, V-경사법은 83.3%의 빈도를 보여 전반적으로 비교적 높은 빈도의 검출율을 보인 반면, 만성기도폐쇄군에서는 호흡지수법이 94.1%로 가장 높았으나 환기당량법과 종말호기 산소분압법이 64.7%의 검출빈도로 정상대조군에 비해 현저히 감소되었고, V-경사법은 83.3%

로 정상대조군과 검출율에 있어서 같은 빈도를 보였다 (Table 5).

이미 환기장애가 초래되어 있는 중등도 이상의 만성기도폐쇄 환자에서 환기성역치 측정의 방법적 신뢰도를 확인하기 위하여 각군 별로 네가지 측정 방법에 의해 결정된 각각의 환기성역치들 간에 Spearman 상관계수를 구하여 유의성을 검증하였다. 정상대조군에서 각 방법들간의 상관계수는 환기당량법과 종말호기 산소분압법간이 0.9182, 환기당량법과 V-경사법간이 0.7455, 그리고 종말호기 산소분압법과 V-경사법간이 0.7091로 환기당량법과 종말호기 산소분압법, 그리고 V-경사법 사이에는 유의한 상관관계를 확인할 수 있었으나, 호흡지수법은 환기당량법과에서만 0.6242의 상관계수를 보여 유의성을 보였지만 종말호기 산소분압법과 V-경사법과는 유의한 상관관계를 확

Table 3. VO₂ values at ventilatory threshold determined by four methods in normal control group.

Patient's No.	(ml/min)			
	VEM*	PETO ₂ #	VSM@	RQ=1\$
1	1892	1892	1834	702
2	912	909	751	496
3	654	681	1098	420
4	1196	1251	899	640
5	1694	1650	1195	640
6	1383	1316	1288	850
7	1913	1889	1285	1105
8	1285	775	1063	1176
9	1758	1591	1257	1364
10	823	770	-	627
11	909	985	905	1087
12	-	-	-	923
Mean	1311	1246	1158	836
±SD	453	455	300	296

- * VEM : ventilatory equivalent method
- # PETO₂ : End-tidal PO₂ method
- @ VSM : V-slope method
- \$ RQ=1 : respiratory quotient method

Table 4. VO₂ values at ventilatory threshold determined by four methods in chronic airway obstruction group (ml/min)

Paient's No.	VEM*	PETO ₂ #	VSM@	RQ=1 ^s
1	456	456	636	521
2	—	—	—	554
3	—	—	—	491
4	432	449	360	506
5	503	492	656	376
6	520	522	—	618
7	650	642	755	686
8	505	491	—	464
9	957	963	683	921
10	697	640	465	602
11	892	862	561	723
12	1005	983	710	537
13	634	624	570	448
14	—	—	613	—
15	—	—	561	674
16	769	779	600	495
17	—	—	754	392
Mean	668	659	610	563
±SD	199	194	112	139

* VEM : ventilatory equivalent method

PETO₂ : End-tidal PO₂ method

@ VSM : V-slope method

\$ RQ=1 : respiratory quotient method

Table 5. The detection rate of each VT measurement method

	VEM	PETO ₂	VSM	RQ=1
Control(n=12)	91.7%	91.7%	83.3%	100%
CAO(n=17)	64.7%	64.7%	76.5%	94.1%

인할 수 없었다(Table 6). 따라서 정상대조군에서는 역치로서의 보편성이 떨어지는 호흡지수법을 제외한 일반적으로 많이 사용되는 나머지 세가지 방법들간에 유의한 상관관계를 확인할 수 있어 정상인에서의 환기 영역치 측정의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 반면 만성

기도폐쇄군에서는 환기당량법과 종말호기 산소분압법 사이에서만 상관계수가 0.9860으로 정상대조군에서처럼 매우 높은 일치도를 보였고 나머지 방법들간에는 그 어느 조합도 유의한 상관관계를 확인할 수 없었다(Table 7). 따라서 만성기도폐쇄 환자에서는 호흡지

Table 6. The correlations between each VT measurement method in control group.

		VEM	PETO ₂	VSM	RQ=1
VEM	r		0.918	0.7455	0.6242
	p	0.0001*	0.0133*	0.0401*	
	n		11	10	11
PETO ₂	r	0.9182		0.7091	0.4510
	p	0.0001*		0.0217*	0.1638
	n	11		10	11
VSM	r	0.7455	0.7091		0.3344
	p	0.0133*	0.0217*		0.3450
	n	10	10		10
RQ=1	r	0.6242	0.4510	0.3344	
	p	0.0401*	0.1638	0.3450	
	n	11	11	10	

(r : Spearman correlation coefficient, p : p-value, n : number, * : p<0.05)

수법은 제외하더라도 보편성 있는 나머지 세가지 방법들간에 일치도가 현저히 떨어지므로 환기성역치 측정 방법은 방법적 신뢰도가 낮음을 확인할 수 있었다. Fig. 1에서 fig. 3까지는 정상대조군에서의 환기당량법, 중

말호기 산소분압법, V-경사법 등의 세가지 방법들간의 선형회기직선을 도표로 나타낸 것이고, fig. 4에서 fig. 6까지는 만성기도폐쇄군에서의 상기 세가지 방법들간의 선형회기직선을 도표로 나타낸 것이다.

Table 7. The correlations between each VT measurement method in chronic airway obstruction group

		VEM	PETO ₂	VSM	RQ=1
VEM	r		0.9869	0.3697	0.5455
	p		0.0001*	0.2931	0.0666
	n		12	10	12
PETO ₂	r	0.9850		0.4667	0.5454
	p	0.0001*		0.1739	0.0666
	n	12		10	12
VSM	r	0.3697	0.4667		-0.0490
	p	0.2931	0.1739		0.8797
	n	10	10		12
RQ=1	r	0.5455	0.5454	-0.0490	
	p	0.0666	0.0666	0.8797	
	n	12	12	12	

(r : Spearman correlation coefficient, p : p-value, n : number, * : p<0.05)

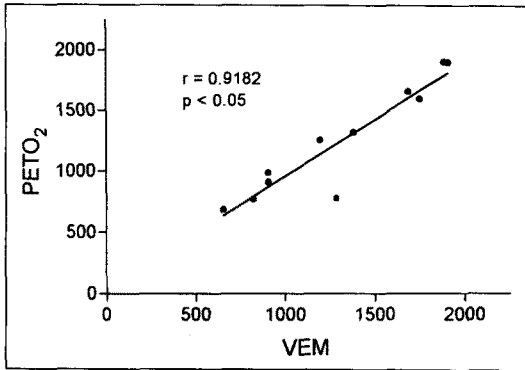


Fig. 1. The correlation between ventilatory equivalent method(VEM) and End-tidal PO₂ method (PETO₂) in normal control group.

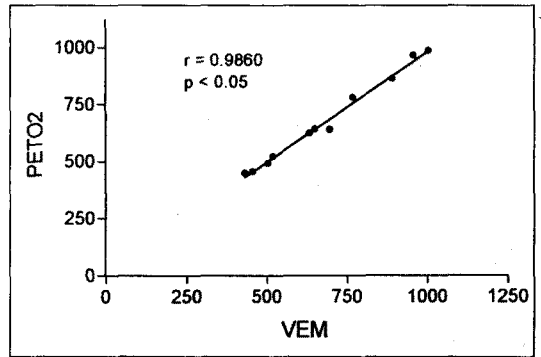


Fig. 4. The correlation between ventilatory equivalent method(VEM) and end-tidal PO₂ method (PETO₂) in chronic airway obstruction group.

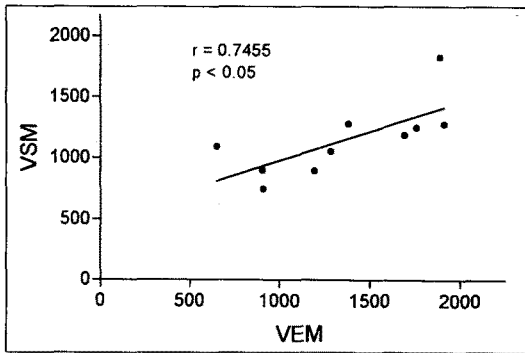


Fig. 2. The correlation between ventilatory equivalent method(VEM) and V-slope method(VSM) in normal control group.

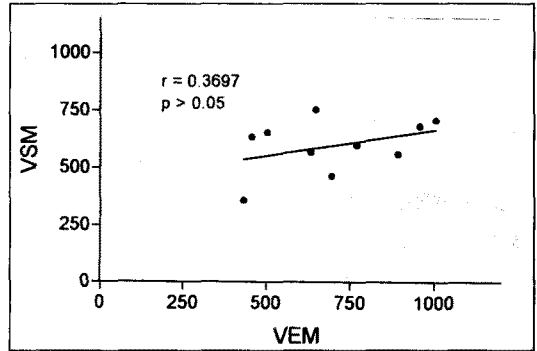


Fig. 5. The correlation between ventilatory equivalent method(VEM) and V-slope method(VSM) in chronic airway obstruction group.

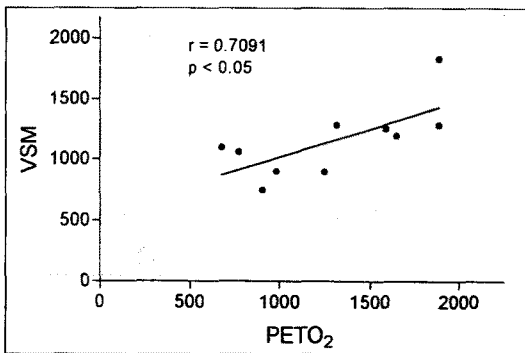


Fig. 3. The correlation between end-tidal PO₂ method (PETO₂) and V-slope method(VSM) in normal control group.

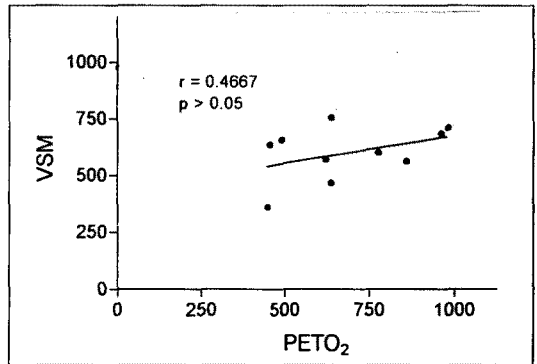


Fig. 6. The correlation between end-tidal PO₂ method (PETO₂) and V-slope method(VSM) in chronic airway obstruction group.

고 안

만성기도폐쇄를 보이는 환자에서 무산소역치가 갖는 임상적 유용성은 환자의 운동능력을 평가할 수 있는 중요한 지표일 뿐 아니라 최근에는 적절한 운동처방을 결정하는데도 그 중요성이 인식되고 있다^{3,4)}. 그리고 무산소역치를 결정하는데 있어서 방법상의 용이성으로 인해 관혈적 역치인 유산역치보다는 환기성역치가 흔히 이용되고 있다. 그러나 실제로 만성기도폐쇄를 보이는 환자에서 환기성역치 측정에 있어서 문제가 되는 것은 실제로 측정되는 빈도가 얼마나 되는가 하는 검출율과 실제 측정된 역치가 참값에 얼마나 가까운가 하는 타당도에 있다. 전자의 경우 실제로 심한 기도폐쇄를 보이는 경우는 역치 결정율이 50%에 지나지 않아¹⁷⁾ 환기성역치의 임상적 유용성에 의문을 두는 경우도 있으나 기도폐쇄가 경한 경우는 거의 모든 경우에 있어서 역치가 측정 가능하다는 보고들도 있어^{3,18)}, 그 유용성을 부정할 수만은 없다. 본연구에서는 FEV₁/FVC를 기준으로 예측치의 35% 이상에서 예측치의 65% 미만의 중등도 이상의 심한 (예측치의 35% 미만의 매우 심한 환자는 제외) 환자를 대상으로 하였는데 환기당량법과 종말호기 산소분압법의 경우는 검출율이 64.7%, V-경사법은 76.5%의 검출율을 보여 일반적인 검출율과 비슷한 수준을 보였고 V-경사법이 좀더 높은 검출율을 보였다.

다음으로는 측정된 환기성역치가 실제 무산소역치의 참값에 얼마나 근사한가를 보여주는 타당도 (validity)의 문제인데 이 경우 표준은 관혈적 방법에 의해 측정된 유산역치가 기준이 된다. 그러나 본 연구에서는 관혈적 방법에 의한 유산 농도를 측정하지 않았기 때문에 타당도의 문제에 대해서는 논할 바가 없다고 생각된다. 그러나 측정된 환기성역치의 참값에 대한 근사성 여부와 상관없이 일관성있는 방법적 신뢰도만 확인된다면 그 임상적 유용성은 유지할 수 있다는 논리적 근거하에 본 연구의 초점을 만성기도폐쇄 환자에서 이론적 결함을 갖고 있는 환기성역치의 방법적 신뢰도를 정상대조군과 비교해 보는데 두었다.

일반적 관점에서 환기당량법과 종말호기 산소분압법 그리고 호흡지수법 등과 같은 가스교환역치와 유산역치 사이의 일치성 여부에 관해서도 논란이 있어 왔다. 몇몇 연구자들이 가스교환역치와 유산역치의 좋은 상관성을 보고하고 있지만¹⁹⁻²²⁾, 상반된 결과를 확인한 보고들도 적지않다^{7, 23-26)}. 뿐만 아니라 환기당량법으로 대표되는 가스교환역치는 그 결정에 있어서 검사자별 변이도가 적지 않게 크다는 사실도 알려져 있어서²⁴⁾, 그 타당성에 의문을 갖는 것은 당연하다고 생각된다. 더욱이 운동중 증가하는 환기적요구에 대한 반응도가 감소되어 있는 만성기도폐쇄 환자에서는 이러한 가스교환역치는 중요한 이론적 결점이 노출되어 있다고 볼 수 있다²⁷⁾. 가스교환역치의 이러한 결점을 보완하기 위한 것이 Beaver가 제창한 V-경사법으로써 환기당량보다는 이산화탄소 생성이 유산축적을 보다 직접적으로 반영할 수 있고 호흡중 발생할 수 있는 떨림현상에 의한 방해가 적다는 점에서 VCO₂와 VO₂를 두 축으로 하는 회귀 직선을 구하여 두 회귀 직선이 교차하는 점에서 무산소역치가 결정되고 이는 컴퓨터 프로그램 하에서 용이하게 결정할 수 있다²⁸⁾. 이러한 배경에서 V-경사법은 다른 가스교환역치 결정법에 비해 유산역치와 일치율이 높다고 알려져 있다^{18, 28)}. 그러나 V-경사법과 다른 환기성역치 측정 방법들간에 비교한 연구는 그리 많지가 않은 실정이다. 본 연구의 결과에 의하면 호흡지수법은 정상대조군과 만성기도폐쇄군 모두에서 다른 세가지 방법들과 그 편차가 너무 심해 하나의 역치로서의 가치는 결여되어 있음을 확인하였는데, 호흡지수법을 제외한 나머지 세가지 방법들간에 정상대조군에서는 높은 상관성을 보여주었지만 만성기도폐쇄군에서는 임상적 이용 빈도가 높은 환기당량법과 V-경사법간에는 전혀 유의한 상관성을 확인할 수 없고 환기당량법과 종말호기 산소분압법 간에만 유의한 상관성을 보여주었는데 이는 환기당량법과 종말호기 산소분압법이 이론적으로 매우 유사한 배경을 갖고 있기 때문이라 생각된다. 이러한 만성기도폐쇄 환자에서의 환기성역치 측정이 갖는 불일치성은 Belman MJ²⁹⁾ 등의 보고와 일치하는 것으로 만성

폐쇄성폐질환 환자에서는 관혈적 방법에 의해 결정된 대사성 산혈증을 환기적 방법에 의해 결정된 역치로 신뢰성있게 예측할 수 없으므로 만성폐쇄성폐질환 환자에서 환기성역치 측정은 큰 도움이 되지 않는다고 결론을 맺고 있다. Elliot 등도³⁰⁾ 심한 만성기도폐쇄를 보이는 환자에서는 무산소역치 결정에 있어서 환기당량법과 종말호기 산소분압법은 신뢰할 수 없는 방법이며 오히려 종말호기 이산화탄소분압이 감소되지 않으며 호흡지수가 지속적으로 증가하는 시점이 만성기도폐쇄 환자에서는 무산소역치 결정에 도움이 된다는 안을 제시하였다.

따라서 만성기도폐쇄를 보이는 환자에서 무산소역치를 측정할 때에는 가스교환법 혹은 환기법에 의한 방법은 조심스럽게 적용되어야 될 것으로 생각되며 특히 흔히 이용되는 환기당량법과 종말호기 산소분압법 등의 가스교환 역치는 이론적인 결함이 있다는 것을 실제로 확인할 수 있었으며, 실제로 환기성역치 방법들 중의 우열을 가리는 문제는 관혈적 방법을 동원하여 유산소역치를 측정하여 비교연구하는 보완이 있어야 될 것으로 생각된다.

요 약

연구배경 :

혈중 유산농도를 측정함으로써 결정되는 무산소역치(유산역치)는 관혈적이라는 제한점이 있어, 운동부하시 유산증가에 수반되는 환기적부하에 반응하는 여러 환기지표에서 비관혈적으로 무산소역치(환기성역치)를 측정하는 방법들이 제시되어 있고, 이들에는 환기당량법, 종말호기 산소분압법, V-경사법, 호흡지수법 등이 알려져 있다. 무산소역치를 반영하는 환기성역치의 타당도에 관하여 논란이 없는 것은 아니지만, 일관성있는 방법적 신뢰도가 유효하다면 운동능력 평가에 있어서 환기성역치의 유용성이 인정된다는 일반적인 의견이다. 그러나 이미 환기장애가 초래되어 있는 만성기도폐쇄를 보이는 환자에서는 운동증가에 따르는 유산증가에 대처하는 환기반응이 적절하지 못하

므로 환기성역치가 무산소역치를 반영하지 못한다는 지적이 있다. 만성기도폐쇄를 보이는 환자에서 상기한 네가지 환기성역치 측정방법들의 역치검출율과 신뢰도를 확인하기 위하여 본 연구를 시행하였다.

방 법 :

12명의 정상대조군과 17명의 만성기도폐쇄 환자군을 대상으로 증상제한적 최대운동부하검사(정상군: 25 W/min, 만성기도폐쇄군 10 W/min)를 실시한 후 환기당량법, 종말호기산소분압법, V-경사법, 호흡지수법 등에 의해 환기성역치를 구한 후 상관계수를 구하여 유의성을 검증하였다.

결 과 :

각 환기성역치 측정방법에 의한 역치 검출율은 정상대조군에서 호흡지수법이 100%, 환기당량법과 종말호기 산소분압법이 91.7%로 같은 빈도를 보였고, V-경사법은 83.3%의 빈도를 보여 전반적으로 비교적 높은 빈도의 검출율을 보인 반면, 만성기도폐쇄군에서는 호흡지수법이 94.1%로 가장 높았으나 환기당량법과 종말호기 산소분압법이 64.7%의 같은 검출빈도로 정상대조군에 비해 현저히 감소되었고, V-경사법은 83.3%로 정상대조군과 검출율에 있어서 같은 빈도를 보였다. 각 환기성역치 측정방법들의 유의성을 검증한 결과 정상대조군에서는 호흡지수법을 제외한 환기당량법과 종말호기 산소분압법, 그리고 V-경사법 등간에 모두 유의한 상관관계를 보인 반면 만성기도폐쇄군에서는 환기당량법과 종말호기 산소분압법사이에서만 상관계수가 0.9860으로 정상대조군에서처럼 매우 높은 일치도를 보였고 나머지 방법들간에는 그 어느 조합도 유의한 상관관계를 확인할 수 없었다.

결 론 :

호흡지수법은 매우 예민하지만 신뢰성이 떨어지는 방법이고, 환기당량법과 종말호기 산소분압법은 거의 유사한 방법이며, 환기능이 정상인 사람에서는 환기성역치 측정이 무산소역치를 반영하는 유용성이 있다고 판단되지만 만성기도폐쇄 환자에서는 그 유용성이 떨어진다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Wasserman K, McIlroy MB: Detecting the threshold of anaerobic metabolism. *Am J Cardiol* **14** : 844, 1964
2. Davis JA, Frank MH, Whipp BJ, Wasserman K: Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle aged men. *J Appl Physiol* **46** : 1039, 1976
3. Casaburi R, Patessio A, Ioli F, Zanaboni S, Donner CF, Wasserman K: Reductions in exercise lactic acidosis and ventilation as a result of exercise training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* **143** : 9, 1991
4. Casaburi R, Wasserman K: Exercise rehabilitation in patients with COPD. *N Engl J Med* **314** : 1509, 1986
5. Brooks GA: Anaerobic threshold: review of the concept and directions for the future research. *Med Sci Sports Exerc* **17** : 22, 1985
6. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ: Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J Appl Physiol* **59** : 1936, 1985
7. Shimizu M, Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Froelicher VF: The ventilatory threshold: method, protocol, and evaluator agreement. *Am Heart J* **122** : 509, 1991
8. Wasserman K: The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *Am Rev Respir Dis* **129** : suppl, pp.S35, 1984
9. Davis JA, Frank MH, Whipp BJ, Wasserman K: Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged man. *J Appl Physiol* **41** : 544, 1976
10. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ: A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* **60** : 2020, 1986
11. Naimark A, Wasserman K, McIlroy MB: Continuous measurement of ventilatory exchange ratio during exercise. *J Appl Physiol* **19** : 644, 1964
12. Jones NL, Jones G, Edwards RHT: Exercise tolerance in chronic airway obstruction. *Am Rev Respir Dis* **103** : 477, 1971
13. Nery LE, Wasserman K, French W, Oren A, Davis JA: Contrasting cardiovascular and respiratory response to exercise in mitral valve and chronic obstructive pulmonary diseases. *Chest* **83** : 446, 1983
14. Altose MD, McCauley WC, Kelsen SG, Cherniack NS: Effects of hypercapnia and inspiratory flow-resistive loading on respiratory activity in chronic airways obstruction. *J Clin Invest* **59** : 500, 1977
15. Lane DJ, Howell JBL: Relationship between sensitivity to carbon dioxide and clinical features in patients with chronic airways obstruction. *Thorax* **25** : 150, 1970
16. Laurenco RV, Miranda JM: Drive and performance of the ventilatory apparatus in chronic obstructive lung disease. *New Engl J Med* **279** : 53, 1968
17. Wasserman K: The anaerobic threshold measurement in exercise testing. *Clin chest Med* **5** : 77, 1984
18. Sue DY, Wasserman K, Morica RB, Casaburi R: Metabolic acidosis during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* **94** : 931, 1988
19. Matsumura N, Nishijima H, Kojima S, Hashimoto F, Minami M, Yasuda H: Determination of anaerobic threshold for assessment of functional state in patients with chronic heart failure. *Circu-*

- lation **68** : 360, 1983
20. Dickstein K, Barvik S, Aarsland T, Snapinn S, Karlsson J: A comparison of methodologies in detection of the anaerobic threshold. *Circulation* **81**(suppl 2) : 38, 1990
 21. Davis JA, Vodak P, Wilmore JH, Vokad J, Kurtz P: Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol* **41** : 544, 1976
 22. Ivy JL, Withers RT, Van Handel PJ, Elger DH, Costill DL: Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J Appl Physiol* **48** : 523, 1980
 23. Simon J, Joung JL, Gutin B, Blood DK, Care R: Lactate accumulation relative to the anaerobic and respiratory compensation thresholds. *J Appl Physiol* **54** : 13, 1983
 24. Green HJ, Hughson RL, Orr GW, Ranney DA: Anaerobic threshold, blood lactate, and muscle metabolites in progressive exercise. *J Appl Physiol* **54** : 1032, 1983
 25. Gladden BL, Yates JW, Stremel RW, Stamford BA: Gas exchange and lactate anaerobic thresholds: inter- and intraevaluator agreement. *J Appl Physiol* **58** : 2082, 1985
 26. Yeh MP, Gardner RM, Adams TD, Yanowitz FG, Crapo RO: Anaerobic threshold: problems of determination and validation. *J Appl Physiol* **55** : 1178, 1983
 27. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* **35** : 236, 1973
 28. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ: A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* **60** : 2020, 1986
 29. Belman MJ, Epstein LJ, Doornbos D, Elashoff JD, Koerner SK, Mohsenifar Z: Noninvasive determinations of the anaerobic threshold; reliability and validity in patients with COPD. *Chest* **120** : 1028, 1992
 30. Elliot CG, Cromar B, Adams TD, Crapo RO, Yeh MP, Gardner RM: Measurement of anaerobic threshold in chronic airflow obstruction. *Respiration* **52** : 7, 1987