

소아의 기도 폐쇄 평가에서 impulse oscillometry system과 폐활량 측정법의 비교

포천중문의과대학교 소아과학교실

허혜영 · 박지희 · 김형윤 · 정다운 · 신윤호 · 한만용

= Abstract =

A comparison between impulse oscillometry system and spirometry for spirometry for detecting airway obstruction in children

Hae Young Hur, M.D., Ji Hee Kwak, M.D., Hyoung Yun Kim, M.D.
Da Wun Jung, Yoon Ho Shin, M.D. and Man Yong Han, M.D.

Department of Pediatrics, College of Medicine, Pochon CHA University, Sungnam, Korea

Purpose : Measurement of forced expiratory volume in 1 second (FEV₁) is usually difficult to obtain in children under six years of age because it requires active cooperation. This study evaluates the sensitivity of impulse oscillometry system (IOS) parameters for detecting airway obstruction in comparison with FEV₁.

Methods : We studied 174 children who performed the lung function and methacholine challenge tests to diagnose asthma by IOS and spirometry. Children were divided into two subgroups according to their PC₂₀, which is a parameter for bronchial sensitivity. We compared IOS parameters with FEV₁ at the baseline, post-methacholine challenge, and evaluated their correlation.

Results : At the baseline, reactance at 5 Hz (X5) and resistance at 5 Hz (R5) significantly differed between the PC₂₀ positive (PC₂₀ ≤ 16 mg/mL) group and PC₂₀ negative (PC₂₀ > 16 mg/mL) group; however, FEV₁, FEV₁ % predicted, FEV₁_Zs (Z score) did not differ. FEV₁ is correlated with X5 (r=0.45, P<0.01) and R5 (r=- 0.69, P<0.01). FEV₁_Zs is also correlated with X5_Zs (r=- 0.26, P<0.01) and R5_Zs (r=- 0.31, P<0.01). After the methacholine challenge test, dose-response slopes in FEV₁ and X5 significantly differed between the two subgroups (P<0.05).

Conclusion : IOS parameters were more discriminative than FEV₁ for detecting decreased baseline lung function between two subgroups and have a good correlation with FEV₁. (Korean J Pediatr 2008;51:842-847)

Key Words : Impulse oscillometry, Forced expiratory volume in 1 second, Spirometry, Children

서 론

소아에서 폐 기능 검사는 천식의 진단과 중등도 평가, 치료 반응을 보기 위해 주로 이용되고 있고, 일반적으로 기도 폐쇄 정도와 기도 과민성의 평가를 위해 1초간 강제 호기량(forced expiratory volume in 1 second, FEV₁)을 측정하는 폐활량 측정법

(spirometry)을 많이 이용한다. 그러나 FEV₁의 측정은 대상 환자의 협조가 필요하기에 6세 이전의 소아에서는 검사하기 어렵고, 강제 호기(forced expiration)를 요구하기 때문에 기관지 긴장도에 영향을 주어 검사의 정확도가 떨어질 수 있다^{1,2)}.

이에 반해 Forced oscillation technique (FOT)는 정상 호흡 중에 평가가 가능하여 협조가 되지 않는 소아에서도 이용할 수 있는 폐 기능 검사로서 1956년 Dubois에 의해 개발되었다³⁾. FOT의 원리는 통상의 호흡 동안 다양한 주파수의 진동압(oscillating pressure)을 주고 그에 대한 반응으로 나타나는 압력과 유속을 측정하여 저항(resistance, Rrs), 유도저항(reactance, Xrs), reactance area (AX), resonant frequency (Fr) 등을 구하는 것이다^{4,5)}. 본 연구에서 이용한 Impulse oscillometry system (IOS)은 FOT의 한 변형으로 발전된 것으로 압력신호와 데이터 처리과정에서 약간의 차이가 있지만 FOT와 비슷한 Rrs, Xrs 값을 나타낸다⁶⁾.

Received : 28 April 2008, Revised : 16 July 2008, Accepted : 21 July 2008
Address for correspondence : Man Yong Han, M.D.

Department of Pediatrics, School of Medicine, Hospital Pochon CHA University
Bundang CHA 351 Yatap-dong, Bundang-gu, Sungnam, Gyonggi-do, 463-712, Korea

Tel : +82.31-780-6262, Fax : +82.31-780-5239

E-mail : drmesh@hanmail.net

No author has a financial conflict of interest with material presented in this paper.

이전의 여러 연구⁷⁻¹⁰⁾에서 IOS를 폐활량 측정법, 체적 변동 기록법(body plethysmography) 등의 다른 폐기능 검사와 비교하였는데 IOS는 대부분의 연구에서 기도 폐쇄 측정의 민감도가 폐활량 측정법보다는 높고 체적 변동 기록법과는 비슷하였다. 그러나 아직까지 IOS는 폐활량 측정법에 비해 널리 이용되지 못하고 있고, 이에 대한 연구도 제한적이다.

이에 본 연구에서는 IOS의 기도 폐쇄 측정의 유용성을 검증하기 위해 가장 표준적인 폐 기능 검사로 이용되고 있는 폐활량 측정법과 비교하고자 이번 연구를 실시하였다.

대상 및 방법

1. 대상

2006년 7월부터 2007년 12월까지 포천중문의과대학교 분당차병원 소아 알레르기 클리닉에 내원한 환자 중에서 반복적인 천명음, 기침, 호흡 곤란 등의 증상이 있어서 천식을 진단하기 위해 폐활량 측정법과 IOS를 실시한 환자 174명을 대상으로 하였다. 대상군은 모두 유발검사 전의 FEV₁이 정상 예측 값의 70% 이상 이었고, 기관지 과민성에 영향을 줄 수 있는 경구 혹은 흡입용 기관지 확장제 및 스테로이드 약물은 검사 시행 8-48시간 전부터 투여를 중단하도록 하였다. 대상 군을 FEV₁의 20% 감소를 일으키는 흡입 물질의 농도, 즉 PC₂₀ (provocative concentration causing a 20% fall in FEV₁)에 따라 기관지 과민성 양성군과 음성군으로 나누었는데, 양성군의 기준은 PC₂₀가 16 mg/mL 이하인 경우로 하였고, PC₂₀은 미국 흉부학회에서 제시한 방법에 따라 계산하였다¹¹⁾. 본 연구는 분당 차병원 기관윤리심사위원회의 승인을 받았다.

2. 방법

1) 폐 기능 검사

폐 기능 검사는 IOS (MasterScreen IOS, Jaeger, Wurzburg, Germany)를 이용해서 폐활량 측정법과 IOS 검사를 시행하였는데, 폐활량 측정법은 기관지 긴장도에 영향을 주기 때문에^{1, 2)} IOS 검사를 먼저 하고, 폐활량 측정법을 하였다. 폐활량 측정법은 미국 흉부학회의 지침에 따라 시행하였다¹¹⁾. IOS 검사는 Oostveen 등¹²⁾에 의해 기술된 방법에 따라 시행하였는데, 이를 간단히 기술하면 대상 환자를 앉힌 상태에서 코마개를 한 후 마우스피스(mouthpiece)를 입에 물리고, 검사자가 양손으로 양쪽 볼을 감싸 누르도록 하여 상기도 단락(shunt)에 의한 압력 손실을 최소화하도록 하였다. 평상시대로 호흡하도록 하면서 호흡 패턴이 일정하고 안정된 경우만을 결과로 받아들였으며, 침삼킴, 마우스피스를 혀로 막거나 불완전하게 물어서 생긴 압력 누출에 의한 신호 변화는 결과에 포함시키지 않았고, 결과는 최소한 20 초 이상 인위적인 신호 없이 적절한 신호가 지속될 때 적합한 것으로 간주하였다¹³⁾. 먼저 기저 값을 1회 측정한 후 메타콜린 기

관지 유발 검사를 하였다.

2) 메타콜린 기관지 유발 검사

메타콜린 기관지 유발검사는 미국 흉부학회에서 권한 방법에 따라 시행하였다¹¹⁾. 간단히 설명하면 메타콜린(Sigma Chemical Co., St. Louis, Mo., USA)을 완충 식염수에 녹여 0.062 mg/mL 부터 16 mg/mL 까지 5단계의 농도로 희석하였고, 연무기(Pari GmbH nebulizer, Sramberg, Germany)에 용량계(dosimeter, Ferraris Medical, Louisville, USA)를 연결하여 각 농도의 메타콜린을 5회 흡입하였고, 5분 간격으로 농도를 증가시켰으며 각 농도 흡입 후 2분 경과 후에 폐기능을 측정하였다. 메타콜린 유발검사는 최고 농도인 16 mg/mL 에 도달했거나 검사 도중 환자가 호흡곤란, 흉통, 심한 기침 등의 증상을 호소하면 중단하였다. 최고 농도의 메타콜린 유발검사 후에는 기관지 확장제인 Salbutamol (Ventolin, GlaxoSmithkline, Brentford, England) 2.5 mg 을 흡입하였고 10분 후에 폐 기능 검사를 한 후 검사를 종료하였다.

3) 검사 지표 및 기관지 유발검사 후 변화율

FEV₁과 IOS 지표는 절대 값, % 예측치, Z score (Zs)로 나누어서 비교하였다. Z score는 서로 다른 폐 기능 검사의 비교가 가능하고, 치료 후의 변화를 보다 잘 파악할 수 있기 때문에 미국 흉부학회에서는 결과를 표기할 때 % 예측 값 보다 Z score로 제시할 것을 권장하고 있다⁴⁾. Z score는 (측정값-평균값)/(표준편차)를 이용해서 계산하는데, 본 연구에서는 IOS 제조사에서 제공한 값을 이용하였다. 유발검사 후 각 지표의 변화율은 용량-반응 기울기(dose-response slope)를 이용하여 알아보았는데, 이는 기저 값에 대한 % 변화율을 흡입한 메타콜린 농도로 나누어서 구하였다¹⁴⁻¹⁶⁾. 예를 들면, FEV₁의 용량-반응 기울기는 $\Delta FEV_1 / (\text{흡입한 메타콜린의 축적 농도})$ 를 이용하여 구하였고, ΔFEV_1 은 $(FEV_1 \text{의 기저 값} - \text{유발검사 후의 } FEV_1) / (FEV_1 \text{의 기저 값})$ 을 계산하였다.

4) 통계 및 분석

대상군의 비교는 Student's T test를 사용하였고, 각 지표의 상관관계의 검증은 Pearson's correlation test를 사용하여 시행하였다. 결과는 일반적으로 평균값±표준편차로 제시하였고, 통계 분석은 SPSS 프로그램(version 12.0, SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 P값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

결 과

1. 연구 대상 환아들의 특성

대상 환자는 총 174명으로, 기관지 과민성 양성군 80명, 기관지 과민성 음성군 94명이었다. 기관지 과민성 양성군의 평균연령은 10.11±2.37세, 남아가 52명, 여아가 28명이었고, 기관지 과민성 음성군의 평균연령은 10.54±2.22세, 남아가 55명, 여아는 39

명이었다. 두 군의 나이, 성별, 키는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 두 군의 기저 폐 기능 지표 중 reactance at 5 Hz (X5), resistance at 5 Hz (R5), X5_Zs, FEV₁/FVC는 두 군간에 유의한 차이를 보였지만 FEV₁, FEV₁ % 예측치, FEV₁_Zs, R5_Zs는 유의한 차이가 없었다(Table 1).

2. 검사지표의 상관관계

FEV₁은 X5 (r=0.45, P<0.01) 및 R5 (r=-0.69, P<0.01)와 상관관계를 보였고(Fig. 1A, B), FEV₁_Zs 역시 X5_Zs (r=-0.26, P<0.01), R5_Zs (r=-0.31, P<0.01)와 상관관계를 보였다. 그러

Table 1. Demographic Characteristics and Baseline Lung Function Tests Results of the Subjects according to Their PC₂₀

	PC ₂₀ ≤16 mg/mL (N=80)	PC ₂₀ >16 mg/mL (N=94)	P value*
Sex, M/F, N	52/28	55/39	N.S
Age, yr	10.11±2.37	10.54±2.22	N.S
Height, cm	135.38±14.91	139.66±14.64	N.S
FEV ₁ , L	1.82±0.63	2.01±0.64	N.S
FEV ₁ , % pred	99.79±12.82	101.09±11.06	N.S
FEV ₁ _Zs	-0.00±0.09	0.00±0.08	N.S
FEV ₁ /FVC, %	0.85±0.07	0.88±0.07	<0.05
X5, kPa/L/sec	-0.28±0.14	-0.24±0.09	<0.05
X5, % pred	107.08±65.03	94.99±29.72	N.S
X5_Zs	0.05±0.36	-0.02±0.18	<0.05
R5, kPa/L/sec	0.80±0.26	0.72±0.23	<0.05
R5, % pred	99.56±20.4	89.95±59.21	N.S
R5_Zs	-0.00±0.12	-0.02±0.11	N.S

Results are expressed as mean±SD. Abbreviation: FEV₁, forced expiratory volume in one second; Zs, Z score; FVC, forced vital capacity; X5, reactance at 5 Hz; R5, resistance at 5 Hz; PC₂₀, provocative concentration causing a 20% fall in FEV₁; pred, predicted.

*P<0.05 was considered significant. N.S, not significant

나, FEV₁ % 예측치는 X5 % 예측치(r=-0.21, P<0.01)와 상관관계를 보였지만, R5 % 예측치와는 상관관계를 보이지 않았다. 또, 키는 FEV₁ (r=0.90, P<0.01), X5 (r=0.44, P<0.01), R5 (r=-0.70, P<0.01)와 모두 상관관계가 있었다.

3. 기관지 유발검사 후의 값

유발 검사 후 변화율은 용량-반응 기울기를 구해서 알아보았는데, FEV₁과 X5의 변화율은 기관지 과민성 양성군과 음성군에서 유의한 차이를 보였지만(P<0.05), R5의 변화율은 두 군에서 차이가 없었다(Table 2). 또한 전체 대상군의 FEV₁ 변화율은 X5의 변화율과 상관관계(r=-0.57, P<0.01)가 있었지만, R5의 변화율과는 상관관계가 없었다. 그러나 이것을 기관지 과민성 양성군과 음성군으로 나누어서 보면 양성군은 X5의 변화율(r=-0.90, P<0.01), R5의 변화율(r=-0.24, P<0.05)이 모두 FEV₁ 변화율과 상관관계가 있는 반면, 음성군은 X5의 변화율(r=0.28, P<0.01)만 FEV₁ 변화율과 상관관계를 보였다.

Table 2. Dose-Response Slope of Parameters in Subjects according to Their PC₂₀

	PC ₂₀ ≤16 mg/mL (N=80)	PC ₂₀ >16 mg/mL (N=94)	P value
FEV ₁ DRS*	4.65±9.69	1.85±4.75	0.02
X5 DRS*	-18.06±45.84	-5.59±31.41	0.03
R5 DRS*	-15.85±52.50	-27.83±130.17	0.42

Results are expressed as mean±SD. Abbreviation: FEV₁, forced expiratory volume in one second; DRS, dose-response slope; X5, reactance at 5 Hz; R5, resistance at 5 Hz; PC₂₀, provocative concentration causing a 20% fall in FEV₁

*Defined as the percent decline in each parameter after the final methacholine dose was administered, thus calculated for each parameter as (percent decline in parameter)/(cumulative dose of methacholine inhaled).

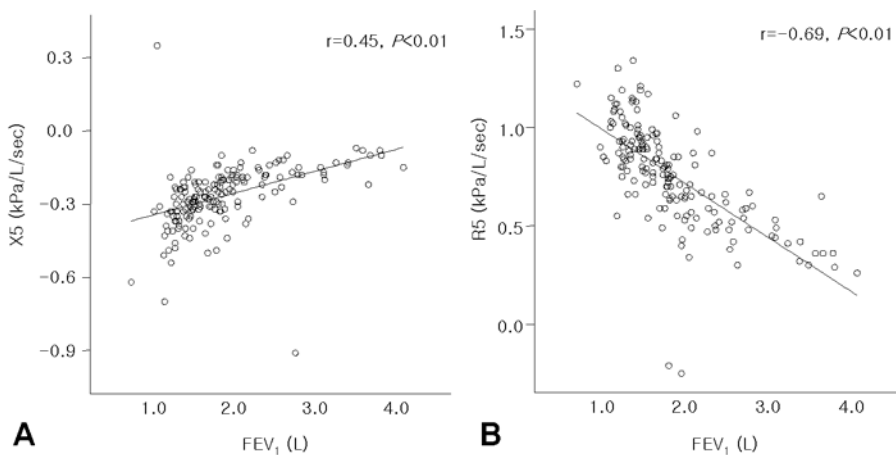


Fig. 1. Correlation between forced expiratory volume in one second (FEV₁) and reactance at 5 Hz (X5) (Fig. 1A) and resistance at 5 Hz (R5) (Fig. 1B). FEV₁ was significantly correlated with X5 (A: r=0.45, P<0.01) and R5 (B: r=-0.69, P<0.01).

고 찰

이번 연구에서 기관지 과민성으로 분류한 대상군의 기저 폐기능 지표 중 FEV₁은 두 군에서 차이가 없었고, X5, R5는 유의한 차이를 보였으므로 기도 폐쇄의 진행 정도를 반영하는 기저값 측정에는 IOS 지표가 FEV₁보다 민감하다고 볼 수 있다. 두 검사의 상관관계에서 기저값은 R5가 FEV₁과 더 강한 상관관계를 보였고, 기관지 유발검사 후 변화율 측정은 X5가 FEV₁과 더 강한 상관관계가 컸다. 또, 유발 검사 후 FEV₁과 X5의 변화율은 두 군에서 유의한 차이를 보였지만, R5의 변화율은 차이가 없었으므로 IOS 지표 중에서는 X5가 R5보다 기관지 과민성을 보는데 더 민감하다고 할 수 있다. 키는 FEV₁, Xrs와는 양의 상관관계, Rrs와는 음의 상관관계를 보였는데, 이는 기존의 연구와 일치된 결과였다^{13, 17, 18}.

일반적으로 폐 기능 검사에서 FEV₁의 측정이 가장 일반적으로 이용되지만, FEV₁의 측정은 대상 환자의 협조를 필요로 하기 때문에 6세 이전의 소아에서는 검사하기 어렵고 반복적인 강제호기는 호흡근을 피로하게 하여 검사의 정확도가 저하된다¹⁹⁻²¹. 또, FEV₁을 측정할 때는 흡기 시에 심호흡을 하는데, 이것은 기관지확장효과가 있어 유발검사 후 기도 폐쇄 정도가 실제보다 낮게 측정될 수 있고¹, 이런 영향은 중증도가 경한 환자에서 더 잘 나타날 수 있다^{2, 22}. 이번 연구에서 대상군의 대부분(93%)이 FEV₁ % 예측치가 80% 이상이였으므로 천식 중증도 분류에서 경한 환자에 포함될 수 있고, 따라서 검사 시의 심호흡이 결과에 영향을 주었을 것으로 여겨진다. 또한, 이전의 연구²³에서 천식 환자의 폐 기능 저하가 서서히 진행하기 때문에 성인과 달리 소아는 FEV₁이 중증도를 잘 반영하지 못하므로 FEV₁과 천식 중증도의 연관성이 떨어질 수 있다고 하여 소아천식의 평가에서 FEV₁ 측정의 한계점을 제시하였다. 이에 반해 IOS는 폐활량 측정법을 할 수 없는 2-4세의 소아에서도 이용할 수 있고⁷, 여러 연구^{8, 9, 24}에서 폐활량 측정법보다 기도 폐쇄 측정의 민감도가 높으며, 다른 연구²¹에서는 FEV₁보다 기관지 유발검사 후 나타날 수 있는 천식의 증상과도 더 상관관계가 있었다.

이번 연구에서는 PC₂₀에 따라 대상 군을 기관지 과민성 양성군과 음성군으로 분류하여 비교하였는데, 기관지 과민성이 클수록, 즉 PC₂₀가 낮을수록 기저 폐기능이 저하된다는 것은 이전의 연구^{16, 25}로부터 예측할 수 있는 결과이지만, 두 군은 유발검사 전에 측정된 기저값에서 FEV₁은 차이가 없었고, X5, R5는 유의한 차이를 보였으므로 IOS 지표가 기도 폐쇄 정도를 더 민감하게 반영한 것이라고 볼 수 있다. 이것은 천식군과 건강한 대조군에서 FEV₁은 차이가 없었지만 Rrs는 차이가 있었던 Lall 등²⁶의 연구와 일치된 결과이다. 그러나 FEV₁과 달리 FEV₁/FVC은 두 군에서 의미 있는 차이를 보였는데, 다른 연구²⁵에서도 PC₂₀은 FEV₁보다 FEV₁/FVC와 더 연관성이 컸다.

기존의 연구에서 대부분 FEV₁과 IOS 지표는 상관관계를 보

였는데, 본 연구에서처럼 기저값은 Rrs이 FEV₁과 더 강한 상관관계를 보이는 연구^{20, 27}도 있고, 이와 달리 Xrs가 FEV₁과 더 강한 상관관계를 보인 연구도 있었다^{21, 28, 29}. Rrs이 FEV₁과 더 강한 상관관계를 보이는 연구^{20, 27}는 FEV₁ % 예측치가 70-80% 이상인 소아 천식환자를 대상으로 한 연구였고, Xrs와 더 강한 상관관계를 보였던 연구는 각각 만성 폐질환을 가진 미숙아²⁸와 천식, 만성기관지염, 폐기종 질환이 있는 성인²¹을 대상 군으로 하여 FEV₁ % 예측치의 평균이 55-56%였기 때문에 본 연구와는 차이가 있었다. 따라서 대상군의 연령이나 질환에 따라 기도 폐쇄 진행 정도나 질환의 병태 생리적 특성이 다르기 때문에 기저값의 상관관계는 연구마다 차이가 있을 것으로 생각된다.

유발검사 후의 변화율은 각 지표의 용량-반응 기울기를 이용하여 알아보았는데¹⁴⁻¹⁶, FEV₁과 X5의 변화율은 기관지 과민성 양성군과 음성군간에 유의한 차이를 보였지만, R5는 두 군에서 차이가 없었다. 즉, IOS 지표 중에서 X5의 변화율이 R5 변화율보다 더 민감하다는 것인데, 이는 소아 기도의 기저저항이 높아서^{7, 30} R5의 기저값이 높게 측정되기 때문에 유발검사 후 R5의 변화율이 적게 나타나서 생긴 결과로 여겨진다. 또한, 전체 대상군에서는 FEV₁의 변화율이 X5의 변화율과는 상관관계가 있고, R5의 변화율과는 상관관계가 없었는데, 이는 R5의 변화율이 적게 측정되면서 FEV₁의 변화율과 상관관계가 적어진 것으로 생각된다. 그러나 기도 반응성이 클 것으로 여겨지는 기관지 과민성 양성군에서는 FEV₁의 변화율이 X5와 R5의 변화율과 모두 상관관계를 보였다. 따라서 소아에서는 IOS를 이용한 유발검사 후 기관지 과민성의 측정지표로 FEV₁과 상관관계가 크고, R5보다 변화율이 커서 민감한 X5가 유용할 것으로 여겨진다.

그러나 본 연구에서 R5, X5와 달리 R5, X5의 % 예측치는 두 군에서 차이가 없었고, R5 % 예측치는 FEV₁ % 예측치와 상관관계를 보이지 않았다. 이는 본 연구에 사용된 지표의 예측값이 IOS 제조사에서 제공한 수치를 이용한 것이고, 이것은 유럽인을 기준으로 한 정상범위를 참조한 것이어서 인종에 따라 폐 기능의 정상범위가 다를 수 있기 때문에^{31, 32} 본 연구 대상군의 정상범위와 차이를 보인 것이라고 여겨진다. 이전의 연구에서도 폐활량 측정법과 달리 아직까지 IOS의 정상범위에 대한 연구가 많지 않아서 IOS 지표는 % 예측치를 이용하지 않고 절대값을 이용한 연구가 많았다^{8, 20}. 그럼에도 X5_Zs 값은 두 군간에 차이가 있는 것으로 보아 기저 폐 기능 평가에 활용할 수 있을 것으로 여겨진다.

결론적으로 본 연구 결과 IOS 지표는 FEV₁보다 기관지 과민성으로 분류한 대상군의 기도 폐쇄 정도를 더 민감하게 구분할 수 있고, 기저값과 유발 검사 후의 IOS 지표와 FEV₁의 상관관계가 높기 때문에 폐활량 측정법을 할 수 없는 소아에서는 IOS를 이용해서 폐 기능 검사를 하는 것이 유용할 것이다.

요 약

목적 : 기도 폐쇄의 평가를 위해 측정하는 FEV₁은 대상 환자

의 협조를 필요로 하기 때문에 6세 이전의 소아에서는 검사하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 소아에서 IOS의 유용성을 검증하기 위해 IOS와 폐활량 측정법의 FEV₁을 비교하였다.

방법 : 병력상 천식이 의심되어 폐활량 측정법과 IOS를 이용해서 폐기능 검사 및 메타콜린 기관지 유발 검사를 실시한 환자 174명을 대상으로 하였다. 대상군은 기관지 과민성 지표인 PC₂₀ 농도에 따라 두 군으로 나누었고, 이들의 기저 폐 기능, 기관지 유발검사 후의 변화율, FEV₁과 IOS 지표의 상관관계를 알아보았다.

결과 : 기저 폐기능 지표 중 X5, R5는 PC₂₀ 양성군과 음성군 간에 유의한 차이를 보였지만, FEV₁, FEV₁ % 예측치, FEV₁Zs은 유의한 차이가 없었다. FEV₁은 X5 ($r=0.45, P<0.01$), R5 ($r=-0.69, P<0.01$)와 상관관계를 보였고, FEV₁Zs 역시 X5_Zs ($r=-0.26, P<0.01$), R5_Zs ($r=-0.31, P<0.01$)와 상관관계를 보였다. 메타콜린 유발검사 후 FEV₁과 X5의 변화율은 두 군간에 유의한 차이를 보였다($P<0.05$).

결론 : IOS 지표는 기저 폐 기능 검사에서 기관지 과민성으로 분류한 환자를 FEV₁보다 민감하게 구분 지을 수 있었고, IOS 지표와 FEV₁의 상관관계가 높았다.

References

- Orehek J, Nicoli MM, Delpierre S, Beaupre A. Influence of the previous deep inspiration on the spirometric measurement of provoked bronchoconstriction in asthma. *Am Rev Respir Dis* 1981;123:269-72.
- Schweitzer C, Moreau-Colson C, Marchal F. Respiratory impedance response to a deep inhalation in asthmatic children with spontaneous airway obstruction. *Eur Respir J* 2002;19:1020-5.
- Dubois AB, Brody AW, Lewis DH, Burgess BF, Jr. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. *J Appl Physiol* 1956;8:587-94.
- Beydon N, Davis SD, Lombardi E, Allen JL, Arets HG, Aurora P, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med* 2007;175:1304-45.
- Goldman MD, Carter R, Klein R, Fritz G, Carter B, Pachucki P. Within- and between-day variability of respiratory impedance, using impulse oscillometry in adolescent asthmatics. *Pediatr Pulmonol* 2002;34:312-9.
- Hellinckx J, Cauberghs M, De Boeck K, Demedts M. Evaluation of impulse oscillation system: comparison with forced oscillation technique and body plethysmography. *Eur Respir J* 2001;18:564-70.
- Klug B, Bisgaard H. Measurement of lung function in awake 2-4-year-old asthmatic children during methacholine challenge and acute asthma: a comparison of the impulse oscillation technique, the interrupter technique, and transcutaneous measurement of oxygen versus whole-body plethysmography. *Pediatr Pulmonol* 1996;21:290-300.
- Marotta A, Klinnert MD, Price MR, Larsen GL, Liu AH. Impulse oscillometry provides an effective measure of lung dysfunction in 4-year-old children at risk for persistent asthma. *J Allergy Clin Immunol* 2003;112:317-22.
- Skloot G, Goldman M, Fischler D, Goldman C, Schechter C, Levin S, et al. Respiratory symptoms and physiologic assessment of ironworkers at the World Trade Center disaster site. *Chest* 2004;125:1248-55.
- Buhr W, Jorres R, Berdel D, Landser FJ. Correspondence between forced oscillation and body plethysmography during bronchoprovocation with carbachol in children. *Pediatr Pulmonol* 1990;8:280-8.
- Crapo RO, Casaburi R, Coates AL, Enright PL, Hankinson JL, Irvin CG, et al. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing-1999. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:309-29.
- Oostveen E, MacLeod D, Lorino H, Farre R, Hantos Z, Desager K, et al. The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. *Eur Respir J* 2003;22:1026-41.
- Wee YS, Kim HY, Jung DW, Park HW, Shin YH, Han MY. Reference values for respiratory system impedance using impulse oscillometry in school-aged children in Korea. *Korean J Pediatr* 2007;50:862-7.
- Parker AL, Abu-Hijleh M, McCool FD. Ratio between forced expiratory flow between 25% and 75% of vital capacity and FVC is a determinant of airway reactivity and sensitivity to methacholine. *Chest* 2003;124:63-9.
- Pairon JC, Iwatsubo Y, Hubert C, Lorino H, Nouaigui H, Gharbi R, et al. Measurement of bronchial responsiveness by forced oscillation technique in occupational epidemiology. *Eur Respir J* 1994;7:484-9.
- Ulrik CS, Backer V. Longitudinal determinants of bronchial responsiveness to inhaled histamine. *Chest* 1998;113:973-9.
- Eigen H, Bieler H, Grant D, Christoph K, Terrill D, Heilman DK, et al. Spirometric pulmonary function in healthy preschool children. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:619-23.
- Frei J, Jutla J, Kramer G, Hatzakis GE, Ducharme FM, Davis GM. Impulse oscillometry: reference values in children 100 to 150 cm in height and 3 to 10 years of age. *Chest* 2005;128:1266-73.
- Solymar L, Landser FJ, Duiverman E. Measurement of resistance with the forced oscillation technique. *Eur Respir J Suppl* 1989;4:150S-3S.
- Vink GR, Arets HG, van der Laag J, van der Ent CK. Impulse oscillometry: a measure for airway obstruction. *Pediatr Pulmonol* 2003;35:214-9.
- Mansur AH, Manney S, Ayres JG. Methacholine-induced asthma symptoms correlate with impulse oscillometry but not spirometry. *Respir Med* 2008;102:42-9.
- Lutchen KR, Jensen A, Atileh H, Kaczka DW, Israel E, Suki B, et al. Airway constriction pattern is a central component of asthma severity: the role of deep inspirations. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:207-15.
- Spahn JD, Cherniack R, Paull K, Gelfand EW. Is forced expiratory volume in one second the best measure of severity in childhood asthma? *Am J Respir Crit Care Med* 2004;

- 169:784-6.
- 24) Lebecque P, Spier S, Lapierre JG, Lamarre A, Zinman R, Coates AL. Histamine challenge test in children using forced oscillation to measure total respiratory resistance. *Chest* 1987;92:313-8.
 - 25) Weiss ST, Van Natta ML, Zeiger RS. Relationship between increased airway responsiveness and asthma severity in the childhood asthma management program. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162:50-6.
 - 26) Lall CA, Cheng N, Hernandez P, Pianosi PT, Dali Z, Abou-zied A, et al. Airway resistance variability and response to bronchodilator in children with asthma. *Eur Respir J* 2007; 30:260-8.
 - 27) Olaguibel JM, Alvarez-Puebla MJ, Anda M, Gomez B, Garcia BE, Tabar AI, et al. Comparative analysis of the bronchodilator response measured by impulse oscillometry (IOS), spirometry and body plethysmography in asthmatic children. *J Investig Allergol Clin Immunol* 2005;15:102-6.
 - 28) Malmberg LP, Mieskonen S, Pelkonen A, Kari A, Sovijarvi AR, Turpeinen M. Lung function measured by the oscillometric method in prematurely born children with chronic lung disease. *Eur Respir J* 2000;16:598-603.
 - 29) Van Noord JA, Clement J, Van de Woestijne KP, Demedts M. Total respiratory resistance and reactance in patients with asthma, chronic bronchitis, and emphysema. *Am Rev Respir Dis* 1991;143:922-7.
 - 30) Delacourt C, Lorino H, Herve-Guillot M, Reinert P, Harf A, Housset B. Use of the forced oscillation technique to assess airway obstruction and reversibility in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:730-6.
 - 31) Azizi BH, Henry RL. Ethnic differences in normal spirometric lung function of Malaysian children. *Respir Med* 1994;88:349-56.
 - 32) Greenough A, Hird MF, Everett L, Price JF. Importance of using lung function regression equations appropriate for ethnic origin. *Pediatr Pulmonol* 1991;11:207-11.