

학동기 소아에서 impulse oscillometry system로 측정한 폐기능 정상치

포천중문의과대학교 소아과학교실

위영선 · 김형윤 · 정다운 · 박혜원 · 신윤호 · 한만용

Reference values for respiratory system impedance using impulse oscillometry in school-aged children in Korea

Young Sun Wee, M.D., Hyoung Yun Kim, M.D., Da Wun Jung, Hye Won Park, M.D.
Yoon Ho Shin, M.D. and Man Yong Han, M.D.

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

Purpose : The impulse oscillometry (IOS) is applicable to young children because it requires minimal cooperation and a non-invasive method to measure the mechanics of respiratory system. This study aimed to develop the reference values in school-aged children in Korea, using IOS which is a modification of forced oscillation technique (FOT).

Methods : Measurements were performed in 92 previously untrained healthy children, aged 7 to 12 years old, using IOS. We analyzed the relationships between the data about their age, height, weight, body surface area (BSA), body mass index (BMI) and the result of IOS using the linear regression test.

Results : The success rate of IOS was 92.4%. Stepwise multiple regression of resistance of respiratory system (Rrs) and reactance of respiratory system (Xrs) in natural form for age, height, weight, BSA, BMI showed that height was the most significant predictor and altogether of 5 variables explained the Rrs and Xrs most. Our regression equations at multiple frequencies were comparable to published reference values, especially about the Rrs obtained at 5 Hz.

Conclusion : IOS is a feasible method to measure the respiratory resistance in untrained children. We got the reference values using IOS and it seems to be useful to diagnose a variety of respiratory diseases. (*Korean J Pediatr* 2007;50:862-867)

Key Words : Impulse oscillometry, Lung function test, Reference values, Child, Airway resistance

서 론

1초간 강제호기량(forced expiratory volume 1 s; FEV1)으로 대표되는 폐기능 검사는 천식의 진단과 추적 관찰을 위한 최적의 검사법이다. 그러나 학동전기(preschool age)의 소아는 검사 방법을 숙지하기 어렵고 협조가 제대로 되지 않아 시행하기 어렵다¹⁾. 이러한 이유로 폐기능이 필요한 소아를 위하여 다양한 폐기능 검사 방법이 개발되고 있으며, 이 중 일회 호흡(tidal)시에 입에 진동압(oscillating pressure)을 주어 호흡 저항(Rrs; resistance of respiratory system)을 측정하는 FOT(forced os-

cillation technique)의 활용도가 증가하고 있다²⁾.

FOT는 비침습적이며 호흡 노력과는 무관하게 호흡 역학을 측정하므로, 소아 폐기능을 측정하는데 적합한 방법이다^{3, 4)}. FOT의 측정치 중 하나인 Rrs는 FEV1과 유의한 상관 관계를 가지며⁵⁾, 체적 변동 기록법(body plethysmography)으로 측정된 기도 저항과도 강한 상관 관계를 보인다⁶⁾.

이런 FOT의 한 변형으로 발전한 Impulse oscillation system (IOS)는 임피던스(impedance)을 측정하기 위해 장방형파(rectangular pulse)의 유량신호(flow signal)를 이용한다. FOT와 IOS 모두 호흡기의 임피던스를 측정하는데, FOT는 유사무작위 추출 잡음(pseudorandom noise)신호를 이용하는 반면, IOS는 35 Hz 또는 그 이상의 배음(harmonics)을 포함한 장방형파로 신호를 받아들인다^{6, 7)}.

IOS가 폐기능 측정에 활용되면서 점차 정상 소아 폐기능에 대한 표준치의 필요성이 증가하고 있다. 외국에는 이미 IOS를

접수 : 2007년 6월 20일, 승인 : 2007년 7월 11일

책임저자 : 한만용, 포천중문의과대학교 분당차병원 소아과학교실

Correspondence : Man Yong Han, M.D.

Tel : 031)780-6262 Fax : 031)780-5239

E-mail : drmesh@gmail.com

이용하여 각 주파수대에서 측정된 Rrs의 표준치에 대한 연구가 있다^{4,6,8-11)}. 그러나 IOS 폐기능 수치는 인종마다 기준치가 다르기에^{10,11)} 국내 표준치가 필요한 실정이다. 이에 본 저자들은 국내 학동기 소아의 IOS 표준치를 알아보고자 본 연구를 계획하였다.

대상 및 방법

1. 대상

분당구 야탑동에 소재하는 한 초등학교 학생 800명을 대상으로 연구 목적을 기술한 설명문과 동의서를 가정 통신문으로 보냈다. 이 중 보호자의 동의서 사인을 동봉하여 보내온 학생은 415명이었으며 이들을 대상으로 호흡기 증상에 대한 설문 조사를 하였다. 이에는 천식 진단 유무, 천식 치료력, 최근 일년 이내 호흡기 증상을 앓은 과거력 및 가족력 등이 포함되었다. 설문에 응답한 대상 학생 중 European Respiratory Society(ERS)에서 권하는 건강한 소아의 정의에 따라 다음과 같은 사항이 포함된 학생은 제외하였다¹²⁾. 1) 천명음을 앓은 과거력 또는 부모 및 형제의 천식 가족력 2) 알레르기 비염 또는 아토피 피부염의 병력 3) 저출생 체중아(출생 체중이 1,500 g 미만), 미숙아(재태 연령이 37주 미만), 신생아 시기에 인공 호흡기 사용 또는 기관지 이형성증 등의 병력 4) 가정내 간접 흡연 5) 비만(신장 대비 체중 >95%) 6) 최근 상기도 감염력 7) 호흡곤란과 같은 심한 호흡기 질환이 있었던 경우 8) 폐기능 측정의 제외 대상이 될 만한 다른 요인이 있는 경우. 415명의 학생 중 65명은 천식이 의심되는 증상이 있었고 219명은 건강한 소아 항목에 들지 않으므로 대상에서 제외하였다. 남은 131명(31.6%)이 건강한 소아에 해당하였고 이 중 92명의 학생을 대상으로 IOS 폐기능 검사를 시행하였다.

2. IOS 방법

폐기능은 IOS(MasterScreen IOS, Jaeger, Germany)로 유럽 학회에서 권한 방법에 따라 시행하였다¹³⁾. 이를 간단하게 기술하면, 대상 학생을 앉힌 상태에서 마우스피스(mouthpiece)를 입에 물린 후, 호흡 노력을 가하지 않고 정상시대로 호흡하도록 하였다. 폐기능 검사 중에 피검사자의 손으로 자신의 볼을 감싸 누르도록 하고 코마개(nose clip)로 코를 막아 상기도 단락(shunt)에 의한 압력 손실을 최소화하도록 하였다. 실시간으로 유속과 임피던스를 모니터하여 실험결과와 적정성이 유지되도록 하였다. 예를 들어, 침을 삼키는 것으로 성문의 개폐가 일어나거나, 말하거나, 울거나, 기침하면서, 이로 인해 유량신호(flow signal)의 변화가 일어나면 인위적인 신호로 간주하고, 이러한 측정치는 결과에서 삭제하였다. 신호를 모니터하는 동안 무호흡이나 과호흡 없이 호흡 패턴이 일정하고 안정된 경우만을 결과로 받아들였으며, 실시간 임피던스를 측정하여 침삼김, 마우스피스를 혀로 막

는 것, 마우스피스를 불완전하게 물어서 생긴 갑작스러운 압력 누출 등으로 인한 신호 변화는 결과에 포함시키지 않았다. 분석의 대상이 된 결과는 이러한 인위적인 신호 없이, 최소한 20초 이상 적절한 신호가 지속될 때 적합한 것으로 간주하였다. 적절한 결과를 얻기 위해 최소한 3번 측정을 반복하였고, 수시간 변동차가 크면 10분 후에 다시 측정하였다¹⁴⁾. 매일 측정 장치의 호흡유량계(pneumotachograph)를 보정(calibrate)하였고, 시스템 또한 임피던스 기준치인 0.2 kPa/L/s로 점검하였다. 호흡기의 임피던스를 이루는 Rrs와 Xrs(reactance of respiratory system)를 정하기 위하여 출력압(output pressure)과 유량 신호의 진폭 및 위상차를 분석하였다. Rrs와 Xrs 값은 고속푸리에 변환(fast Fourier transformation)으로 5-35 Hz의 진동 주파수(oscillation frequency)에 대한 함수로 계산하였다. Xrs가 0인 주파수를 Fr(resonance frequency)로 정하였고 Xrs가 0 미만인 범위에서 Xrs곡선의 면적을 AX로 정하였다.

3. 통계

IOS 폐기능 검사 결과와 키, 몸무게, 나이, 체표 면적(BSA), 신체 질량 지수(BMI)의 연관성에 대하여 선형 회귀분석을 시행하였다. 통계학적 분석은 SPSS(version 10.0)을 이용하였으며 *P* 값은 0.05 미만인 경우를 유의한 것으로 정의하였다.

결과

1. 연구 대상 학생들의 특성

총 92명의 학생에 대하여 IOS 폐기능 검사를 시행하였으며, 이 중 85명의 학생에 대하여 적합한 결과를 얻을 수 있었다. 85명 중 남학생은 35명(41.2%), 여학생은 50명(58.8%)이었다. 평균 나이는 9.4세(7-12세)로 각 연령별 학생들의 성별, 키, 몸무게, 체표 면적 및 신체 질량 지수는 Table 1에 제시하였다. 85명의 신체 질량 지수는 모두 연령 대비 95% 미만이었다.

2. 성공률

92명의 학생 중 7명은 협조 불가로 인해 IOS폐기능 검사를 시행할 수 없었고, 85명에서 적합한 결과를 얻어서 성공률은 92.4%였다. IOS폐기능 검사를 실패한 7명은 남학생 2명(28.6%), 여학생 5명(71.4%)으로 7세가 1명(8%), 9세가 2명(9%), 10세가 4명(18%)이었다.

3. IOS 결과

85명에 대하여 IOS 폐기능 검사를 시행하여 5, 10, 15, 20, 25 및 35 Hz에서 Rrs, Xrs 값을 구할 수 있었다. 또한 Fr, AX와 5 Hz에서의 임피던스인 Z_0 를 구하였다. IOS 결과 값을 키, 몸무게, 체표 면적, 신체 질량 지수 및 나이에 대하여 단계적으로 다중 회귀 분석을 시행하였는데, 각각의 5가지 변수를 로그

변환하거나, 제곱값(키², 키³,...) 또는 역수값(키⁻¹, 키⁻²,...)을 구한 경우보다 변수값 그대로 적용한 경우에 가장 설명력이 높았다. 5가지 변수 중에서는 이전의 연구들과 마찬가지로, 키가 Rrs 및 Xrs에 대하여 가장 의미 있는 연관성을 보였고, 5가지 변수 모두를 동시에 적용하였을 때 가장 유의한 결과를 보였다. 단, X₂₅, X₃₅ 및 Fr은 5가지 변수 각각과 다양한 변수 조합에 대하여 의미 있는 결과를 보이지 않았다. R₅는 6.353-0.068(키)-0.022(몸

무게)+5.502(체표 면적)-0.099(신체 질량 지수)-0.016(나이)로 나타낼 수 있고, 5가지 변수에 의한 설명력은 38.6%였으며, X₅는 -2.02+0.013(키)-0.015(몸무게)-0.367(체표 면적)-0.039(신체 질량 지수)+0.016(나이)로 설명력은 18.8%였다. 5가지 변수의 설명력은 R₁₀이 40.2%, Z₅가 39.4%로 가장 높았다. 그 외의 IOS 폐기능 검사 결과 값과 5가지 변수 모두에 대해 시행한 선형 회귀 분석의 결과는 Table 2에 요약하였다. Rrs는 키에 대한

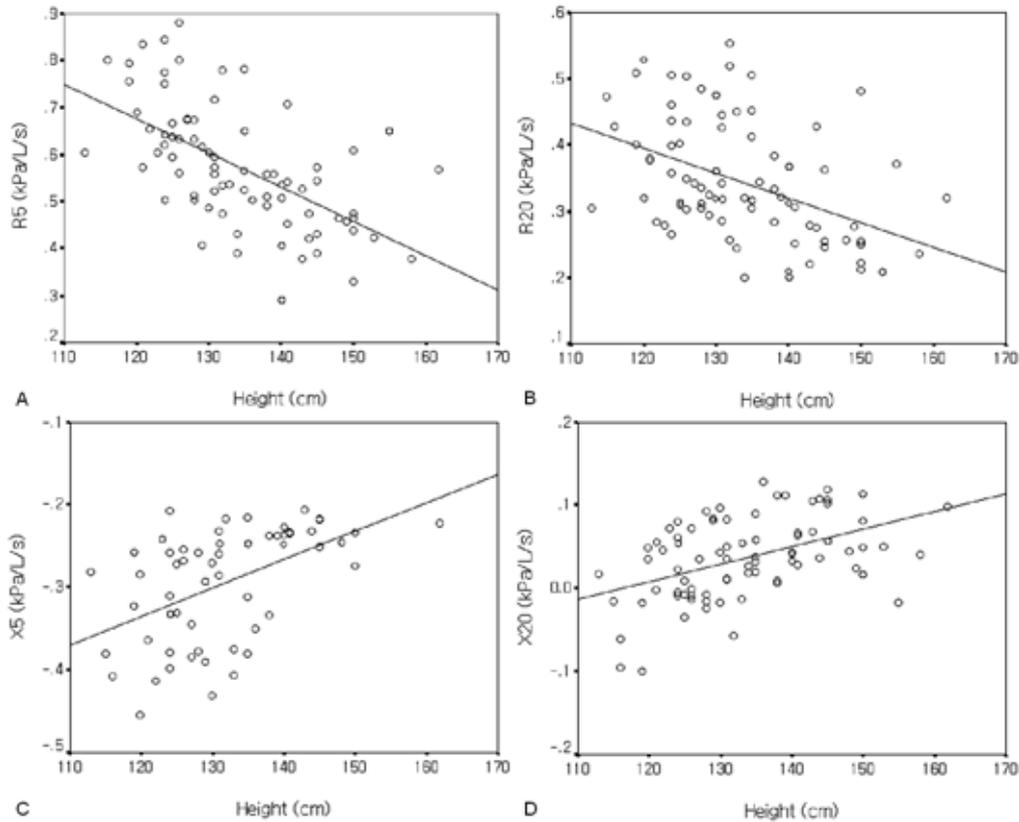


Fig. 1. Display of Rrs at 5, 20 Hz and Xrs at 5, 20 Hz versus height in all children (n=85). Individual data points for respiratory resistance at 5Hz (R₅) (A), 20Hz (R₂₀) (B) and respiratory reactance at 5Hz (X₅) (C), 20Hz (X₂₀) (D) as a function of standing height (cm) in the reference sample of 85 healthy children. The regression equations are represented by solid lines. The R₅ and R₂₀ were negatively correlated with the standing height and the X₅ and X₂₀ was positively correlated with the standing height (A: R²=0.304, P<0.001, B: R²=0.185, P<0.001, C: R²=0.138, P<0.001, D: R²=0.157, P<0.001).

Table 1. Demographic Data of the Reference Sample

Age (years)	No.	Male (%)	Height (cm)	Weight (kg)	BSA (m ²)	BMI (kg/m ²)
7	11	6 (54.5)	122.6±5.3	23.8±3.8	0.9±0.1	15.8±1.6
8	14	4 (28.6)	124.2±5.5	24.6±2.5	0.9±0.1	16.0±1.6
9	19	8 (42.1)	130.0±4.1	28.3±2.7	1.0±0.1	16.8±1.5
10	18	7 (38.9)	137.8±8.3	34.6±6.1	1.2±0.1	18.2±2.1
11	14	6 (42.9)	141.0±6.2	35.4±4.6	1.2±0.1	17.8±2.0
12	9	4 (44.4)	151.3±6.7	43.1±8.8	1.4±0.2	18.8±3.4
All	85	35 (41.2)	133.8±10.8	31.2±1.6	1.1±0.2	17.2±2.2

Results are expressed as mean±SD (age, 9.4±1.5 years). Abbreviations: BSA, body surface area; BMI, body mass index

여 음의 상관 관계를 보이며 Xrs는 양의 상관 관계를 보였고 이는 이전의 연구들과 같은 양상이다. 각각 5, 20 Hz에서의 Rrs와 Xrs에 대한 키의 연관성은 Fig. 1에 명시하였다.

4. 이전 연구 결과와의 비교

본 연구에서 얻은 Rrs와 키에 관한 회귀 분석 공식을 이전

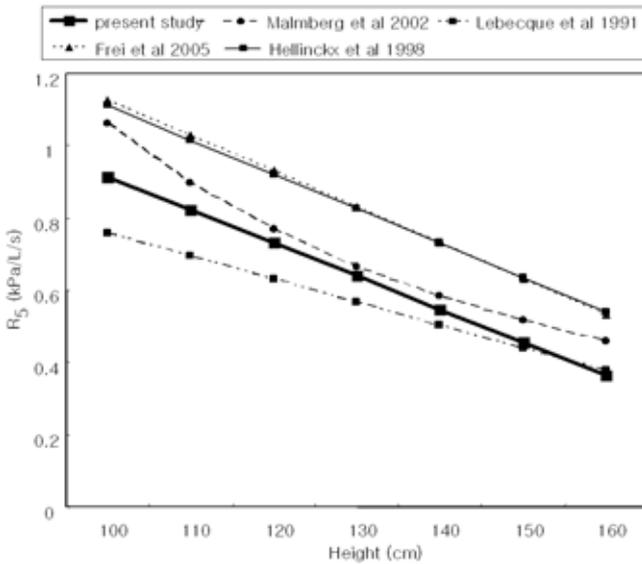


Fig. 2. Comparison of regression curves for the relationship between total respiratory resistance (kPa/L/s) measured at 5 Hz in relation with standing height (cm) in present study compared with previous studies using impulse oscillometry.

연구들과 비교하여 Fig. 2에 도시하였다.

고 찰

건강한 학동기 소아에서 IOS를 이용하여 각 주파수에 대한 호흡기 저항(Rrs 및 Xrs)의 표준치 및 인체 측정치(anthropometric index)에 대한 공식을 구하였다. 인체 측정치 중에서는 키가 가장 의미 있는 예측 인자였으며, Rrs는 키에 대하여 음의 상관 관계를, Xrs는 양의 상관관계를 보였다.

천식의 진단 및 추적 관찰을 위해 시행하는 폐기능 검사는 검사 대상자의 협조가 필요하여 6세 이하의 소아에서는 시행하기 어렵다. 이를 보완하기 위해 여러 폐기능 검사법이 활용되고 있다. 이에는 급속 흉복부 압박법(rapid thoraco-abdominal compression, squeeze), 수동적으로 숨을 내쉬는 동안 날숨 유량(expiratory flow) 및 날숨 폐활량(volume)을 측정하는 방법²⁾, 호기에 기도가 수차례 단기 폐쇄(brief occlusion)될 때 구강압(mouth pressure)과 호기 폐활량을 측정하는 Rint(repeated rapid interruption of expiratory flow method)^{15, 16)}와 체적 변동 기록법등이 있다^{2, 17)}. 이 중 입에 작은 진동압을 부여하여 Rrs를 측정하는 FOT의 사용이 증가하고 있다²⁾.

FOT는 호흡기 역학을 측정하는 비침습적인 방법으로³⁾, 호흡기 유속과 압력을 측정하는 것이 아니라 환자의 자가 호흡에 외부 압력 신호를 부가하여 생긴 인위적 신호의 압력 및 유속의 관계를 알아보는 것이다¹⁸⁾. 이는 마우스피스와 연결된 밸브의 폐쇄와 호흡 노력 없이 이루어지므로 기도 평활근의 긴장도를 변화시키지 않는다. 즉, FOT는 폐활량 측정법을 시행하기 어려운

Table 2. Regression Equations for All Variables

Rfo (kPa/L/s)	Coefficient (SE of Coefficient)					Intercept (SE)	R2 (SE)	P
	Height	Weight	BSA	BMI	AGE			
R5	-0.068 (0.028)	-0.022 (0.043)	5.502 (3.401)	-0.099 (0.049)	-0.016 (0.019)	6.353 (1.977)	0.386 (0.144)	<0.001
R10	-0.041 (0.019)	-0.002 (0.03)	2.815 (2.359)	-0.065 (0.034)	-0.009 (0.013)	4.25 (1.372)	0.402 (0.1)	<0.001
R15	-0.028 (0.019)	-0.001 (0.029)	1.623 (2.306)	-0.035 (0.033)	0.008 (0.013)	2.861 (1.34)	0.309 (0.098)	<0.001
R20	-0.011 (0.017)	0.016 (0.025)	-0.17 (2.01)	-0.016 (0.029)	0.003 (0.011)	1.735 (1.169)	0.273 (0.085)	<0.001
R25	-0.003 (0.015)	0.023 (0.023)	-0.801 (1.807)	-0.013 (0.026)	-0.012 (0.01)	1.348 (1.05)	0.27 (0.077)	<0.001
R35	-0.016 (0.018)	0.015 (0.028)	0.375 (2.215)	-0.03 (0.032)	-0.015 (0.012)	2.365 (1.288)	0.296 (0.094)	<0.001
X5	0.013 (0.019)	-0.015 (0.028)	-0.367 (2.252)	0.039 (0.032)	0.016 (0.012)	-2.02 (1.309)	0.188 (0.096)	0.006
X10	0.026 (0.014)	0.004 (0.021)	-2.061 (1.667)	0.047 (0.024)	0.016 (0.009)	-2.472 (0.969)	0.273 (0.071)	<0.001
X15	0.029 (0.009)	0.013 (0.014)	-2.588 (1.138)	0.048 (0.016)	0.004 (0.006)	-2.446 (0.662)	0.361 (0.048)	<0.001
X20	0.026 (0.009)	0.015 (0.015)	-2.317 (1.149)	0.036 (0.016)	-0.015 (0.006)	-1.913 (0.668)	0.259 (0.049)	<0.001
X25	0.013 (0.009)	0.005 (0.013)	-1.07 (1.064)	0.017 (0.015)	-0.015 (0.006)	-0.831 (0.618)	0.125 (0.045)	0.062
X35	0.003 (0.009)	-0.005 (0.014)	0.006 (1.112)	0.014 (0.016)	-0.016 (0.006)	-0.111 (0.647)	0.117 (0.047)	0.082
Fr	-0.887 (0.624)	-0.204 (0.959)	79.219 (75.974)	-1.978 (1.089)	-0.406 (0.417)	95.449 (44.164)	0.09 (3.225)	NS
AX	-0.324 (0.145)	-0.065 (0.222)	25.697 (17.589)	-0.581 (0.252)	-0.135 (0.097)	30.738 (10.225)	0.341 (0.747)	<0.001
Z5	-0.069 (0.03)	-0.014 (0.046)	5.228 (3.615)	-0.106 (0.052)	-0.019 (0.02)	6.679 (2.102)	0.394 (0.153)	<0.001

R5, R10, R15, R20, R25 and R35: expiratory resistance at oscillating frequencies from 5, 10, 15, 20, 25 to 35 Hz, respectively; X5, X10, X15, X20, X25 and X35: expiratory reactance at oscillating frequencies from 5, 10, 15, 20, 25 to 35 Hz, respectively; Fr: the frequency where the reactance equals zero; AX: the area of the reactance curve less than zero; Z5: the respiratory impedance at 5 Hz. Abbreviations: SE, standard error; BSA, body surface area; BMI, body mass index

학동전기 소아에서도 폐기능을 측정하는데 유용하다⁴⁾.

FOT를 이용한 천식에 관한 연구는 여러 가지가 있다. FOT는 기관지 반응성의 측정과¹⁹⁻²¹⁾ 가역적인 기도 폐쇄의 감지에 유용하다²²⁾. 또한 3세 소아에서 기관지 폐색을 평가하는데 FOT가 Rint보다 더 유용하다²³⁾. 이런 FOT의 한 변형으로 발전한 IOS는 천식, 낭포성 섬유증 및 미숙아의 만성 폐질환에서 호흡기의 역학적 특성을 측정하기 위해 이용되어 왔다¹⁰⁾.

이러한 IOS를 활용한 폐기능 검사의 유용성은 어린 소아에서 적용가능하다는 점이다. 3세 소아에서 IOS 수행은 50%의 성공률을 보였고⁴⁾, 4-5세 소아에서는 폐활량 측정법이 0-17%에서 성공한 데 비해 IOS의 경우 40-83%의 성공률을 보였다⁸⁾. 또한 IOS에 대해 협조도 잘 이루어져서 폐활량 측정법에 대한 협조도가 6-9세 소아에서 59%, 10세 이상 소아에서 76%인데 비해 IOS의 경우 각각 76%, 89%였다⁸⁾. 본 연구에서는 7-12세를 대상으로 92명에 대하여 IOS를 시행하였고 그 중 85명(92.4%)에서 성공하였다.

IOS의 활용도가 증가하면서 건강한 소아 표준치의 필요성이 증가하고 있다. 본 연구에서 85명의 건강한 학동기 소아를 대상으로 각각의 주파수에 대한 다양한 파라미터를 측정하였다.

대부분의 연구에서 IOS를 이용한 각 주파수대에서의 Rrs와 키 및 몸무게에 대해 일정한 공식을 구하였다^{4, 9-11, 13, 14, 24, 25)}. 본 연구에서도 이와 유사하게 Rrs, Xrs, Fr 및 AX에 대한 공식을 구하였으며 이는 이전의 연구와 비슷한 결과를 보였다. 단지 본 연구에서는 키의 설명력 보다 키, 몸무게, 체표 면적, 신체 질량 지수 및 나이 등 5가지 모두를 함께 적용했을 때의 설명력이 더 높아서 5가지 변수와 IOS 결과 값에 대한 공식을 구하였다.

본 연구의 IOS 파라미터는 5가지 변수로 9-40.2%의 설명력을 보였다. X₅, X₂₅, X₃₅, Fr는 20% 미만의 설명력을 보였으나 그 외의 Xrs, Rrs 및 AX는 25%이상의 설명력을 보였다. IOS 결과치를 5가지 변수에 대하여 단계적으로 다중 회귀 분석을 시행하였는데, 5가지 변수 중에서는 이전의 연구들과 마찬가지로 Rrs 및 Xrs에 대하여 키가 가장 의미 있는 연관성을 보였고, 각각의 주파수에 대하여 5가지 변수 모두를 적용하였을 때 가장 설명력이 높았다. Rrs는 키와 음의 상관 관계를 보이며 Xrs는 양의 상관 관계를 보였고 이는 이전의 연구들과 같은 양상이다.

결론적으로 본 연구에서는 건강한 학동기 소아에서 천식 진단에 활용 가능한 폐기능 검사인 IOS에 대하여 표준치와 인체 측정치(anthropometric index)에 대한 공식을 구했다. 이는 외국 자료와 일치하며 학동기 건강한 소아의 표준치로 유용할 것으로 보인다. 앞으로 학동 전기 소아의 표준치나 천식 등의 호흡기 병력이 있는 소아에서의 IOS 결과 등에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

목적 : IOS는 호흡 노력을 요하지 않으며 호흡기 저항을 측

정하는 비침습적인 방법이다. IOS를 이용하여 국내 학동기 소아에서의 표준치를 알아보려고 하였다.

방법 : 7-12세의 건강한 소아 92명을 대상으로 IOS를 시행하였다. IOS 결과 값과 키, 몸무게, 체표 면적, 신체 질량 지수 및 나이 등의 연관성에 대하여 선형 회귀 분석을 시행하였다.

결과 : IOS 성공률은 92.4%였다. 키, 몸무게, 체표 면적, 신체 질량 지수, 나이 등 5가지 변수값과 Rrs 및 Xrs를 분석한 결과, 키가 의미 있는 예측 인자였으며, 5가지 변수 모두 적용한 경우 가장 설명력이 높았다. 각각의 주파수에 따라 회귀 곡선 공식을 구하였으며, 이는 이전 연구들의 표준 공식과 비슷하였다.

결론 : IOS의 표준치를 구하였으며 이를 활용하여 다양한 호흡기 질환의 진단에 활용될 수 있을 것이라 여겨진다.

References

- 1) Blonshine SB. Pediatric pulmonary function testing. *Respir Care Clin N Am* 2000;6:27-40.
- 2) Godfrey S, Bar-Yishay E, Avital A, Springer C. What is the role of tests of lung function in the management of infants with lung disease? *Pediatr Pulmonol* 2003;36:1-9.
- 3) Nielsen KG. Forced oscillation technique. *Paediatr Respir Rev* 2006;7 Suppl 1:8-10.
- 4) Ducharme F, Davis G, Ducharme G. Pediatric reference values for respiratory resistance measured by forced oscillation. *Chest* 1998;113:1322-8.
- 5) Lebecque P, Stanescu D. Respiratory resistance by the forced oscillation technique in asthmatic children and cystic fibrosis patients. *Eur Respir J* 1997;10:891-5.
- 6) 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.
- 7) Park YM. Lung function tests in preschool children. *Korean J Pediatr* 2007;50:422-9.
- 8) Ducharme FM, Davis GM. Measurement of respiratory resistance in the emergency department: Feasibility in young children with acute asthma. *Chest* 1997;111:1519-25.
- 9) Lebecque P, Desmond K, Swartebroekx Y, Dubois P, Lulling J, Coates A. Measurement of respiratory system resistance by forced oscillation in normal children: A comparison with spirometric values. *Pediatr Pulmonol* 1991;10:117-22.
- 10) Dencker M, Malmberg LP, Valind S, Thorsson O, Karlsson MK, Pelkonen A, et al. Reference values for respiratory system impedance by using impulse oscillometry in children aged 2-11 years. *Clin Physiol Funct Imaging* 2006;26:247-50.
- 11) 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.
- 12) Stocks J, Quanjer PH. Reference values for residual volume, functional residual capacity and total lung capacity. ATS workshop on lung volume measurements. official statement of the european respiratory society. *Eur Respir J* 1995;8:492-

- 506.
- 13) 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.
 - 14) Malmberg LP, Pelkonen A, Poussa T, Pohjanpalo A, Haahtela T, Turpeinen M. Determinants of respiratory system input impedance and bronchodilator response in healthy finnish preschool children. *Clin Physiol Funct Imaging* 2002; 22:64-71.
 - 15) Olinsky A, Bryan AC, Bryan MH. A simple method of measuring total respiratory system compliance in newborn infants. *S Afr Med J* 1976;50:128-30.
 - 16) Bridge PD, Ranganathan S, McKenzie SA. Measurement of airway resistance using the interrupter technique in preschool children in the ambulatory setting. *Eur Respir J* 1999;13:792-6.
 - 17) Vilozni D, Barker M, Jellouschek H, Heimann G, Blau H. An interactive computer-animated system (SpiroGame) facilitates spirometry in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:2200-5.
 - 18) Dubois AB, Brody AW, Lewis DH, Burgess BR. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. *J Appl Physiol* 1956; 8:587-94.
 - 19) 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.
 - 20) Bisgaard H, Klug B. Lung function measurement in awake young children. *Eur Respir J* 1995;8:2067-75.
 - 21) Marchal F, Mazurek H, Habib M, Duvivier C, Derelle J, Peslin R. Input respiratory impedance to estimate airway hyperreactivity in children: Standard method versus head generator. *Eur Respir J* 1994;7:601-7.
 - 22) 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.
 - 23) Delacourt C, Lorino H, Fuhrman C, Herve-Guillot M, Reinert P, Harf A, et al. Comparison of the forced oscillation technique and the interrupter technique for assessing airway obstruction and its reversibility in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:965-72.
 - 24) Solymar L, Aronsson PH, Sixt R. The forced oscillation technique in children with respiratory disease. *Pediatr Pulmonol* 1985;1:256-61.
 - 25) Hellinckx J, De Boeck K, Bande-Knops J, van der Poel M, Demedts M. Bronchodilator response in 3-6.5 years old healthy and stable asthmatic children. *Eur Respir J* 1998;12: 438-43.