

한국 정상 소아의 폐기능검사 추정 정상치

박철휘¹, 김효빈¹, 정영호^{2,3}, 이 은^{2,3}, 양송이^{2,3}, 서주희⁴, 권지원^{3,5}, 김형영⁶, 김병주⁷, 이소연⁸, 송대진⁹, 장광천¹⁰, 김우경¹¹, 심정연¹², 홍수종^{2,3}

¹인제대학교 상계백병원 소아청소년과, ²울산대학교 서울아산병원 소아천식아토피센터·소아청소년과, ³알레르기질환표준화연구센터, ⁴원자력병원 소아청소년과, ⁵분당서울대병원 소아청소년과, ⁶고신대학교병원 소아청소년과, ⁷인제대학교 해운대백병원 소아청소년과, ⁸한림대학교 평촌성심병원 소아청소년과, ⁹고려대학교 구로병원 소아청소년과, ¹⁰국민건강보험공단 일산병원 소아청소년과, ¹¹인제대학교 서울백병원 소아청소년과, ¹²성균관대학교 강북삼성병원 소아청소년과

Predicted normal values of pulmonary function tests in normal Korean children

Chul Hyue Park¹, Hyo-Bin Kim¹, Young Ho Jung^{2,3}, Eun Lee^{2,3}, Song I Yang^{2,3}, Ju-Hee Seo⁴, Ji-Won Kwon^{3,5}, Hyung-Young Kim⁶, Byoung-Ju Kim⁷, So Yeon Lee⁸, Dae Jin Song⁹, Gwang Cheon Jang¹⁰, Woo Kyung Kim¹¹, Jung Yeon Shim¹², Soo-Jong Hong^{2,3}

¹Department of Pediatrics, Inje University Sanggye Paik Hospital, Seoul; ²Department of Pediatrics, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Childhood Asthma Atopy Center, Seoul; ³Research Center for Standardization of Allergic Disease, Seoul; ⁴Department of Pediatrics, Korea Cancer Center Hospital, Seoul; ⁵Department of Pediatrics, Seoul National University Bundang Hospital, Seongnam; ⁶Department of Pediatrics, Kosin University College of Medicine, Busan; ⁷Department of Pediatrics, Inje University Haeundae Paik Hospital, Busan; ⁸Department of Pediatrics, Hallym University Sacred Heart Hospital, Anyang; ⁹Department of Pediatrics, Korea University Guro Hospital, Korea University College of Medicine, Seoul; ¹⁰Department of Pediatrics, National Health Insurance Corporation Ilsan Hospital, Goyang; ¹¹Department of Pediatrics, Inje University Seoul Paik Hospital, Seoul; ¹²Department of Pediatrics, Kangbuk Samsung Hospital, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: Pulmonary function tests are useful and important methods for evaluating patients with respiratory diseases. To assess lung function, we need to establish normal values of lung function, which vary according to population, age, gender and growth, particularly in children. This study was undertaken to establish normal predicted values of pulmonary function tests and to predict renewed reference values by spirometry in Korean school children.

Methods: Spirometric forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in 1 second (FEV₁), forced expiratory flow at 25% to 75% of FVC (FEF_{25%-75%}), and peak expiratory flow rate (PEFR) were measured in 406 healthy elementary school children (age, 6–12 years old) in May, 2012. Multiple linear regression analysis was performed for each spirometric parameter against age, height, weight and body surface area (BSA) separately for boys and girls, and derived reference equations and coefficients for all the spirometric parameters.

Results: All the measured spirometric parameters were significantly correlated with age, height, weight, and BSA. FVC was higher in boys aged 6–10 years than girls at ages matched. Height showed the highest correlation coefficient for all the spirometric parameters followed by BSA, weight and age in both genders. The normal predicted values of FVC and FEV₁ at 130 cm in this study using renewed reference equations were approximately in the middle compared to previous studies.

Conclusion: We reported here the renewed reference equations for normal predicted values of pulmonary function tests with high coefficients of determination based on updated data in healthy Korean children. (*Allergy Asthma Respir Dis* 2014;2:187-193)

Keywords: Reference equation, Spirometry, Reference value, Pulmonary function, Children

서 론

폐기능검사는 폐의 생리학과 폐질환의 역학적 연구에 이용되어 왔으며 임상에서 폐기능의 객관적 평가를 통해 호흡기질환의 진단과 치료에 이용되고 있다. 폐기능검사는 제한성, 폐쇄성 폐질환의

진단뿐만 아니라 다양한 유발 검사를 통해 특정 폐질환의 진단에 도움을 주고 있으며, 호흡기 증상이 있는 경우 폐질환의 중증도에 대한 객관적 평가와 치료의 경과 판정에 이용될 수 있다. 또한 기질적 폐질환뿐만 아니라 근육마비와 같은 폐 외 질환에 의한 호흡기 증상에도 유용하다.¹⁾

Correspondence to: Hyo-Bin Kim
Department of Pediatrics, Inje University Sanggye Paik Hospital, Inje University College of Medicine,
1342 Dongil-ro, Nowon-gu, Seoul 139-707, Korea
Tel: +82-2-950-8895, Fax: +82-2-950-8883, E-mail: hbkim@paik.ac.kr

•This study was supported by a grant of the Korea Healthcare Technology R&D Project, Ministry for Health, Welfare, Republic of Korea (A092076).

Received: September 2, 2013 Revised: October 16, 2013 Accepted: October 17, 2013

© 2013 The Korean Academy of Pediatric Allergy and Respiratory Disease
The Korean Academy of Asthma, Allergy and Clinical Immunology
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License
(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

소아에서 폐기능검사는 대상 연령이 제한적이고 피검자의 협조 정도에 따라 결과가 일관적이지 못하다는 단점이 있으나 흉부 X선과 다른 검사에서 이상을 보이지 않는 호흡기질환에서도 유용하게 시행할 수 있으며, 환자의 치료 효과와 질병의 경과를 평가할 수 있다는 장점을 가지고 있다.²⁾ 최근 소아에서 천식과 알레르기질환의 유병률이 증가하면서 폐기능검사가 더욱 중요해지고 있으며 비교적 간편하게 시행할 수 있는 폐기능검사가 개발되고 있다.

폐기능검사는 피검자의 신장치를 평가하기보다는 건강인에서 구한 추정 정상치의 백분율로 표시하게 되며 추정 정상치는 연령, 신장, 체중, 성별, 체표면적, 인종 등에 따라 차이가 있다.^{1,3)} 소아를 대상으로 폐기능검사 항목의 추정 정상치에 대한 보고들이 있었으나³⁻¹⁵⁾ 국내 보고는 1998년 이후 최근 자료는 없어 본 연구에서는 이런 신체계측치를 이용한 추정 정상치를 계산할 수 있는 회귀방정식을 각 폐기능검사 항목별로 제시하고자 하였다.

또한, 시간이 지남에 따라 소아들의 신체계측에 변화가 있듯이 이에 영향을 받는 폐기능검사도 변화가 생겼을 수 있는데, 1967년 대한소아과학회와 보건복지부의 공동연구로 한국 소아청소년 신체발육 및 표준치 제정사업이 시작된 이후 매 10년 단위로 소아발육표준치 측정조사가 추진되어 왔으며 2007년 질병관리본부와 대한소아과학회가 ‘2007 한국 소아청소년 성장도표’를 완성하였으나,¹⁶⁾ 소아의 폐기능 정상 예측치에 대한 연구는 1998년 이후로는 없었으므로 국내 소아청소년의 성장 변화를 반영하는 새로운 폐기능 정상 예측치가 필요하다. 저자들은 알레르기질환 표준화사업의 일환으로 2012년에 서울지역 초등학교 소아에서 연령, 신장, 체중, 성별, 체표면적에 따른 추정 정상치를 얻고 과거의 연구들과 비교해 보고자 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2012년 5월에 서울에 위치한 1개 초등학교에서 6세에서 12세 사이의 초등학교생 1,365명 중 학생과 보호자의 동의하에 폐기능검사를 1,128명에서 시행하였다. 이 중 미숙아, 천식을 진단받은 적이 있거나 최근 12개월 이내에 천명 증상이 있었던 경우, 급성 또는 만성 호흡기질환이 있는 경우, 비만(연령별로 체질량지수 95 백분위수 이상), 간접흡연력이 있는 소아는 제외하고, 정상 소아 406명(남아 189명, 여아 217명)을 대상으로 연구를 시행하였다. 본 연구는 사전에 부모나 보호자에게 안내문을 배포하여 조사 내용에 대해 설명한 후 동의서를 받았으며 서울아산병원 임상연구심의위원회(Institutional Review Board)의 승인하에 진행되었다.

2. 연구 방법

동일인에 의하여 신장, 체중을 측정하였으며, 체질량지수는 kg/

m²으로, 체표면적은 다음의 공식으로 환산하였다.¹⁷⁾

$$\text{체표면적} = \sqrt{\text{체중(kg)} \times \text{신장(cm)} \div 3,600}$$

설문조사를 시행하여 천식 증상과 진단의 과거력, 최근 호흡기 감염의 여부, 출생 시 재태연령과 체중, 간접흡연력을 조사하였다.

폐기능 측정에는 spirometry (Microspiro HI-298, Tokyo, Japan)를 사용하였다. 측정 전 대상 소아에게 검사 방법을 충분히 교육시킨 후, 안정시킨 다음, 기립자세에서 mouth-piece를 물리고 호흡을 최대한 깊게 들이마신 후 가능한 세게, 빠르게, 6초 이상 내쉬게 하여 유량-기량곡선(flow-volume curve)을 얻었다. 노력성폐활량(forced vital capacity, FVC), 1초간노력성호기량(forced expiratory volume in one second, FEV₁), 노력성중간호기유량(forced expiratory flow at 25% to 75% of FVC, FEF_{25%-75%}), 최대호기속도(peak expiratory flow rate, PEFR)를 측정하였고, 같은 방법으로 3번 검사를 실시하여 가장 높은 측정치를 택하였다.

3. 통계분석

자료는 SPSS ver. 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 성별과 연령에 따른 폐기능검사 항목 간의 비교는 *t*-test를 시행하였고, 각각의 폐기능검사 항목에 대한 단순 회귀방정식을 선형회귀분석을 시행하여 구하였으며 각 신체계측치와의 상관계수를 구하여 어떠한 변수가 영향을 미치는지를 검정하였다. 또한 각 폐기능검사 항목에 대한 중회귀분석을 시행하여 연령, 신장, 체중, 체표면적이 폐기능검사 항목들에 미치는 영향에 대하여 검정하였다.

결 과

1. 대상의 특성

대상군은 총 406명으로 남아 189명, 여아 217명이었다(Table 1). 평균연령은 9.22 ± 1.68세(범위, 6.25–12.67세)로 남녀 간에 차이가

Table 1. Characteristics of the study subjects

Characteristic	Male (n= 189)	Female (n= 217)	P-value
Age (yr)	9.12 ± 1.73	9.30 ± 1.64	0.292
Height (cm)	136.39 ± 11.69	137.32 ± 11.77	0.428
Weight (kg)	33.44 ± 9.26	33.41 ± 9.81	0.979
FVC (L)	1.94 ± 0.48	1.83 ± 0.47	0.015
FEV ₁ (L)	1.78 ± 0.43	1.73 ± 0.45	0.233
FEF _{25%-75%} (L)	2.16 ± 0.61	2.33 ± 0.73	0.011
PEFR (L/sec)	4.06 ± 0.99	3.91 ± 1.08	0.147

Values are presented as mean ± standard deviation.

FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in 1 second; FEF_{25%-75%}, forced expiratory flow at 25% to 75% of FVC; PEFR, peak expiratory flow rate.

없었다($P=0.292$). 신장과 체중 모두 남녀 간에 유의한 차이는 없었다($P=0.428$, $P=0.979$).

폐기능검사 항목들에서 FVC는 남학생들에서 1.94 ± 0.48 L로 여학생들의 1.83 ± 0.47 L보다 높았다($P=0.015$). 반면에 $FEF_{25\%-75\%}$ 는 남학생들에서 2.16 ± 0.61 L/sec로 여학생들의 2.33 ± 0.73 L/sec보다 유의하게 낮았다($P=0.011$). FEV_1 과 $PEFR$ 은 남녀 간에 차이가 없었다($P=0.233$, $P=0.147$). 이를 좀더 연령별, 성별로 나누어 보았을 때(Table 2), FVC는 6세부터 10세 사이에서는 연령별로 남학생이 여학생보다 유의하게 증가되어 있으나 11세 이상에서는 성별 간 차이가 없었다. FEV_1 은 6세에서만 남학생에서 여학생에 비해 증가되어 있으나($P<0.001$) 7세 이상에서는 차이가 없었다. $FEF_{25\%-75\%}$ 는 6-12세 사이의 소아에서는 남녀 간에 연령별로 유의한 차이가 없었으며 $PEFR$ 은 6세와 8세에서만 남학생들이 여학생들보다 유의하게 높았다($P=0.014$, $P=0.026$).

2. 연령과 신체계측치에 따른 폐기능검사 항목의 회귀방정식

폐기능검사 각각의 항목(FVC, FEV_1 , $FEF_{25\%-75\%}$, $PEFR$)에 대한

여 연령과 신체지표(신장, 체중, 체표면적)에 대한 남녀 각각의 회귀방정식과 상관계수를 구하였으며 이는 Table 3과 같았다. 남녀 모두에서 FVC, FEV_1 , $FEF_{25\%-75\%}$, $PEFR$ 에 대한 설명력은 신장이 가장 높았고 체표면적이 다음을 이었다. 폐기능검사 항목들 중 남학생과 여학생에서 설명력은 신장에 따른 FEV_1 이 각각 0.818과 0.805로 가장 높았다.

남녀 각각에서 연령, 신장, 체중, 체표면적을 변수로 폐기능검사 각 항목에 대한 다중회귀방정식과 설명력을 구하였고 이는 Tables 4, 5와 같았다. 모든 경우의 회귀방정식은 $P<0.001$ 로 유의하였고, 남녀 모두에서 4가지 변수를 모두 사용하는 경우 가장 설명력이 높았다. 모든 폐기능검사 항목에 있어서 체표면적에 관한 추정치의 표준오차가 커서 체표면적을 제외하고 3가지 변수를 사용한 경우와 4가지 변수를 모두 사용한 경우의 설명력은 거의 차이가 없었다.

다중회귀방정식에서 FEV_1 , $PEFR$ 은 남자가 설명력이 높았으며 FVC, $FEF_{25\%-75\%}$ 는 여자가 설명력이 높았다. 신장을 단일변수로 사용한 경우, FEV_1 외에는 모두 여자에서 설명력이 높았다.

Table 2. Mean values of spirometric parameters

Age (yr)	No.	FVC (L)			FEV_1 (L)			$FEF_{25\%-75\%}$ (L/sec)			$PEFR$ (L/sec)		
		Male	Female	P-value	Male	Female	P-value	Male	Female	P-value	Male	Female	P-value
6	43	1.51±0.20	1.25±0.19	<0.001	1.40±0.16	1.19±0.19	<0.001	1.73±0.30	1.63±0.40	0.362	3.10±0.54	2.70±0.47	0.014
7	65	1.60±0.29	1.47±0.21	0.032	1.45±0.23	1.38±0.18	0.147	1.77±0.45	1.87±0.42	0.380	3.37±0.62	3.10±0.59	0.078
8	81	1.69±0.29	1.57±0.24	0.049	1.56±0.23	1.48±0.19	0.071	1.92±0.32	1.98±0.37	0.405	3.56±0.52	3.30±0.50	0.026
9	66	2.02±0.27	1.83±0.29	0.007	1.85±0.23	1.74±0.27	0.080	2.22±0.49	2.26±0.46	0.724	4.18±0.55	4.14±0.72	0.793
10	71	2.23±0.35	2.05±0.34	0.032	2.04±0.29	1.95±0.32	0.219	2.47±0.52	2.69±0.64	0.119	4.61±0.61	4.38±0.90	0.209
11	68	2.41±0.40	2.41±0.37	0.964	2.22±0.37	2.28±0.35	0.486	2.69±0.66	3.03±0.79	0.055	5.13±0.93	5.05±1.02	0.756
12	12	2.74±0.55	2.48±0.18	0.266	2.55±0.54	2.41±0.18	0.551	2.95±0.60	3.38±0.21	0.119	5.65±0.48	5.13±0.44	0.083

Values are presented as mean±standard deviation.

FVC, forced vital capacity; FEV_1 , forced expiratory volume in 1 second; $FEF_{25\%-75\%}$, forced expiratory flow at 25% to 75% of FVC; $PEFR$, peak expiratory flow rate.

Table 3. Prediction equations and square of regression coefficients for each spirometric parameter

Variable	FVC (L)		FEV_1 (L)		$FEF_{25\%-75\%}$ (L/sec)		$PEFR$ (L/sec)	
	Prediction equation	r^2	Prediction equation	r^2	Prediction equation	r^2	Prediction equation	r^2
Male								
Age (yr)	$Y=0.210A+0.031$	0.573	$Y=0.193A+0.019$	0.602	$Y=0.223A+0.126$	0.401	$Y=0.441A+0.034$	0.593
Height (cm)	$Y=0.036H-3.018$	0.791	$Y=0.033H-2.753$	0.818	$Y=0.037H-2.896$	0.509	$Y=0.068H-5.263$	0.654
Weight (kg)	$Y=0.043W+0.512$	0.688	$Y=0.038W+0.507$	0.676	$Y=0.041W+0.778$	0.398	$Y=0.076W+1.511$	0.510
Body surface area (m ²)	$Y=2.086B-0.392$	0.747	$Y=1.871B-0.313$	0.744	$Y=2.042B-0.126$	0.443	$Y=3.782B-0.177$	0.575
Female								
Age (yr)	$Y=0.230A-0.307$	0.635	$Y=0.219A-0.309$	0.647	$Y=0.295A-0.411$	0.441	$Y=0.476A-0.523$	0.542
Height (cm)	$Y=0.036H-3.087$	0.799	$Y=0.034H-2.939$	0.805	$Y=0.045H-3.916$	0.544	$Y=0.075H-6.327$	0.663
Weight (kg)	$Y=0.040W+0.489$	0.696	$Y=0.038W+0.464$	0.695	$Y=0.052W+0.580$	0.501	$Y=0.083W+1.132$	0.575
Body surface area (m ²)	$Y=1.975B-0.389$	0.753	$Y=1.871B-0.369$	0.754	$Y=2.555B-0.539$	0.532	$Y=4.111B-0.702$	0.624

FVC, forced vital capacity; FEV_1 , forced expiratory volume in 1 second; $FEF_{25\%-75\%}$, forced expiratory flow at 25% to 75% of FVC; $PEFR$, peak expiratory flow rate; r^2 , square of regression coefficient. A, age (yr); H, height (cm); W, weight (kg); B, body surface area (m²).

Table 4. Multiple linear regression equations for spirometric parameters with variables of the physical measurements in male subjects

Parameter	Regression equation	r^2	SEE	P-value
FVC	$Y = -0.016A + 0.035H + 0.025W - 0.905B - 2.531$	0.801	A, 0.018; H, 0.012; W, 0.043; B, 2.641	<0.001
	$Y = -0.017A + 0.031H + 0.011W - 2.502$	0.801	A, 0.018; H, 0.004; W, 0.004	<0.001
	$Y = -0.013A + 0.038H - 3.129$	0.792	A, 0.018; H, 0.003	<0.001
	$Y = 0.036H - 3.018$	0.791	H, 0.001	<0.001
	$Y = 0.078A + 0.032W + 0.179$	0.720	A, 0.017; W, 0.003	<0.001
FEV ₁	$Y = -0.006A + 0.039H + 0.036W - 1.911B - 2.561$	0.822	A, 0.016; H, 0.010; W, 0.036; B, 2.250	<0.001
	$Y = -0.007A + 0.031H + 0.005W - 2.499$	0.821	A, 0.015; H, 0.003; W, 0.003	<0.001
	$Y = -0.006A + 0.034H - 2.800$	0.818	A, 0.015; H, 0.002	<0.001
	$Y = 0.033H - 2.753$	0.818	H, 0.001	<0.001
	$Y = 0.086A + 0.026W + 0.139$	0.723	A, 0.015; W, 0.003	<0.001
FEF _{25%-75%}	$Y = 0.029A + 0.062H + 0.101W - 6.286B - 2.906$	0.514	A, 0.036; H, 0.024; W, 0.085; B, 5.253	<0.001
	$Y = 0.024A + 0.034H - 2.62E - 05W - 2.702$	0.510	A, 0.036; H, 0.007; W, 0.007	<0.001
	$Y = 0.024A + 0.034H - 2.701$	0.510	A, 0.036; H, 0.005	<0.001
	$Y = 0.037H - 2.896$	0.509	H, 0.003	<0.001
	$Y = 0.127A + 0.023W + 0.233$	0.449	A, 0.031; W, 0.006	<0.001
PEFR	$Y = 0.154A + 0.009H - 0.146W + 8.294B - 3.749$	0.677	A, 0.048; H, 0.032; W, 0.113; B, 6.963	<0.001
	$Y = 0.162A + 0.049H - 0.002W - 4.038$	0.674	A, 0.048; H, 0.009; W, 0.010	<0.001
	$Y = 0.162A + 0.048H - 3.923$	0.674	A, 0.048; H, 0.007	<0.001
	$Y = 0.068H - 5.263$	0.654	H, 0.004	<0.001
	$Y = 0.311A + 0.031W + 0.179$	0.627	A, 0.041; W, 0.008	<0.001

r^2 , square of regression coefficient; SEE, standard error of the estimates; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in 1 second; FEF_{25%-75%}, forced expiratory flow at 25% to 75% of FVC; PEFR, peak expiratory flow rate; A, age (yr); H, height (cm); W, weight (kg); B, body surface area (m²).

3. 국내외 폐기능검사 추정 정상치와의 비교

본 연구에서 FVC, FEV₁의 신장에 대한 회귀방정식을 국내외 연구 결과들과 비교하였다(Table 6). 국내 연구에서 FVC의 예측치는 남자에서는 키 130 cm에서 Lim 등,³⁾ Youn 등,⁴⁾ Cha 등⁵⁾의 보고보다 낮게 나타났으나 Nam 등,⁶⁾ Cho 등⁷⁾의 보고보다는 높게 나타났다. 여자에서는 Lim 등,³⁾ Youn 등⁴⁾의 보고보다는 낮게, Cha 등,⁵⁾ Nam 등,⁶⁾ Cho 등⁷⁾의 보고보다는 높게 나타났다. FEV₁의 예측치는 남자에서는 신장 130 cm에서 Lim 등,³⁾ Cha 등⁵⁾의 보고보다 낮으나 Youn 등,⁴⁾ Nam 등,⁶⁾ Cho 등⁷⁾의 보고보다 높았다. 여자에서는 신장 130 cm에서 Lim 등,³⁾ Youn 등,⁴⁾ Cha 등⁵⁾의 보고보다는 낮게, Nam 등,⁶⁾ Cho 등⁷⁾의 보고보다는 높게 나타났다.

국외 다른 연구들과 비교하였을 때, FVC, FEV₁의 예측치는 신장 130 cm에서 남녀 모두 Jeng 등¹⁵⁾의 연구를 제외하고 모두 낮은 것으로 나타났다.¹¹⁻¹⁵⁾

고 찰

본 연구는 2012년에 국내 정상 초등학생을 대상으로 폐기능검사를 시행하여 폐기능검사에 영향을 미치는 연령, 신장, 체중, 체표면적에 따른 폐기능검사 항목별 회귀방정식을 다시 구하였다. 그중 신장이 가장 각 폐기능검사 항목에 대한 설명력이 가장 높았고, 과거

의 국내외 연구들과 비교하여 차이가 있어 이를 비교 정리하였다.

여러 요인들 중 신장이 폐기능검사와 가장 상관관계가 높은 것으로 여러 연구에서 보고되었다.^{3,4,18,19)} 본 연구에서도 폐기능검사의 각 항목에 대해 남녀 모두 신장이 가장 설명력이 높았고 체표면적이 두 번째로 설명력이 높았다. 그 다음은 남자에서는 연령, 체중 순으로, 여자에서는 체중, 연령 순으로 설명력이 높았다. 소아의 성장에 따라 폐기능의 측정치는 증가하게 된다. 12세 이하에서는 나이보다 신장이 폐기능과 더 높은 상관관계를 가진다. 여자는 20세까지, 남자는 25세까지 연령의 증가와 폐기능의 증가가 상관관계를 가지며 이후 연령이 증가하더라도 폐기능은 증가하지 않는다고 하였다.²⁰⁾ 어린 연령에서는 신장의 증가에 따라 폐기능이 선형 관련성을 보이고, 연령이 증가함에 따라 신장은 폐기능과 지속적인 양의 상관관계를 보이는 데 반해, 연령이 많아지면 폐기능과 연령은 점차음의 상관관계를 보이게 된다.^{21,22)} 본 연구에서 대상자의 연령은 6세에서 12세까지로 연령과 폐기능 측정치는 양의 상관관계를 보였다(FVC, $r^2 = 0.764$; FEV₁, $r^2 = 0.785$; FEF_{25%-75%}, $r^2 = 0.647$; PEFR, $r^2 = 0.740$).

체중의 증가가 폐의 성숙으로 인한 폐기능의 증가를 초래하나 일정 수준을 넘어서면 비만에 의해 폐기능이 감소한다는 muscularity-obesity 효과에 대한 연구가 있으나,²³⁾ 본 연구에서는 체질량지수가 95 백분위수 이상의 비만인 경우 대상자에서 제외하였으므로 체중

Table 5. Multiple linear regression equations for spirometric parameters with variables of the physical measurements in female subjects

Parameter	Regression equation	r^2	SEE	P-value
FVC	$Y = 0.027A + 0.021H - 0.005W + 0.918B - 2.208$	0.809	A, 0.017; H, 0.011; W, 0.037; B, 2.301	<0.001
	$Y = 0.027A + 0.026H + 0.009W - 2.247$	0.809	A, 0.017; H, 0.003; W, 0.003	<0.001
	$Y = 0.025A + 0.033H - 2.904$	0.801	A, 0.018; H, 0.002	<0.001
	$Y = 0.036H - 3.087$	0.799	H, 0.001	<0.001
	$Y = 0.111A + 0.026W - 0.073$	0.758	A, 0.015; W, 0.002	<0.001
FEV ₁	$Y = 0.030A + 0.022H + 0.001W + 0.478B - 2.140$	0.814	A, 0.016; H, 0.010; W, 0.035; B, 2.146	<0.001
	$Y = 0.031A + 0.024H + 0.008W - 2.161$	0.814	A, 0.016; H, 0.003; W, 0.003	<0.001
	$Y = 0.029A + 0.031H - 2.732$	0.808	A, 0.016; H, 0.002	<0.001
	$Y = 0.034H - 2.939$	0.805	H, 0.001	<0.001
	$Y = 0.110A + 0.024W - 0.093$	0.764	A, 0.014; W, 0.002	<0.001
FEF _{25%-75%}	$Y = 0.049A + 0.053H + 0.115W - 6.012B - 2.544$	0.563	A, 0.041; H, 0.026; W, 0.086; B, 5.354	<0.001
	$Y = 0.048A + 0.026H + 0.019W - 2.286$	0.560	A, 0.041; H, 0.008; W, 0.007	<0.001
	$Y = 0.043A + 0.040H - 3.600$	0.547	A, 0.041; H, 0.006	<0.001
	$Y = 0.045H - 3.916$	0.544	H, 0.003	<0.001
	$Y = 0.132A + 0.036W - 0.090$	0.539	A, 0.032; W, 0.005	<0.001
PEFR	$Y = 0.073A + 0.041H - 0.024W + 2.559B - 4.453$	0.668	A, 0.052; H, 0.033; W, 0.112; B, 6.920	<0.001
	$Y = 0.073A + 0.052H + 0.018W - 4.563$	0.668	A, 0.052; H, 0.010; W, 0.009	<0.001
	$Y = 0.069A + 0.066H - 5.790$	0.663	A, 0.053; H, 0.007	<0.001
	$Y = 0.074H - 6.291$	0.660	H, 0.004	<0.001
	$Y = 0.245A + 0.052W - 0.095$	0.627	A, 0.042; W, 0.007	<0.001

r^2 , square of regression coefficient; SEE, standard error of the estimates; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in 1 second; FEF_{25%-75%}, forced expiratory flow at 25% to 75% of FVC; PEFR, peak expiratory flow rate; A, age (yr); H, height (cm); W, weight (kg); B, body surface area (m²).

이 증가함에 따라 폐기능 측정치는 양의 상관관계를 보였다(FVC, $r^2 = 0.826$; FEV₁, $r^2 = 0.827$; FEF_{25%-75%}, $r^2 = 0.670$; PEFR, $r^2 = 0.735$).

폐기능에 영향을 미치는 인자들에 대한 많은 연구들이 있다. 체표면적과 폐기능의 상관관계에 대한 보고²⁴⁾와 흉곽용량과 폐기능의 상관관계를 보고한 연구도 있다.²⁵⁾ 본 연구에서 체표면적은 폐기능과 양의 상관관계를 보였으며 신장보다는 설명력이 낮으나 연령과 체중보다 높은 설명력을 보였다. 흉곽의 용량은 흉위 측정을 통해 폐기능과의 연관성을 비교 연구할 수 있겠으나 본 연구에서는 시행하지 않았다.

성별에 따른 폐기능의 차이에 대한 국내 보고^{9,10)}와 국외 보고²⁶⁾에서 사춘기 이전 남녀에서 FVC와 FEV₁은 동일 신장을 기준으로 남자가 여자보다 크다. 그러나 사춘기 이전의 여자가 같은 나이의 남자에 비해 폐용적에 대한 기도 크기의 비가 더 크며 이로 인한 기도 저항의 감소로 여자가 남자에 비해 호흡기질환이 적다는 보고가 있다.^{27,28)} 또한 기도 저항의 감소로 인해 3-6세 여자에서 남아보다 높은 PEFR을 보인다는 보고가 있다.²⁹⁾ 본 연구에서도 6-10세까지 남자가 여자에 비해 FVC가 유의하게 높았으나($P < 0.05$), FEV₁은 6세에서만, PEFR은 6세와 8세에서만 남자가 여자보다 유의하게 높은 측정치를 나타내었고 그 외의 연령에서는 모두 성별에 의한 차이를 보이지 않았다. 이런 결과는 국내외 다른 연구 결과와 크게 다르지 않았다.^{3,4,6,9,26)}

폐기능의 정상치는 연령, 신장, 체중, 체표면적, 성별, 인종 이외에도 많은 요소가 관여하며 대기오염, 흡연, 사회경제적 여건에 대한 보고도 있다. 이산화황이 높은 지역에서 실시한 소아의 폐기능검사에서 max expiratory flow volume이 유의하게 감소하는데 이는 기관지 내경의 변화로 인한 것으로 설명하기도 하고,³⁰⁾ 어머니의 흡연이 소아의 폐기능에 미치는 악영향에 대한 보고도 있다.³¹⁾ 그 외에도 많은 사회경제적 요인이 폐기능에 영향을 줄 것으로 사료된다. 본 연구에서는 간접흡연력이 있는 소아를 연구 대상에서 제외하였으나 거주지역, 대기오염, 기타 사회경제적 요인의 영향에 대해서는 타 연구들과 비교하지는 못하였다. 따라서 국내외 여러 폐기능 정상치에 관련한 보고들이 있으나 이러한 차이나 선택된 연구 대상의 지역적, 인종적, 사회경제적 차이 등에 의하여 결과에 차이가 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 서울에 위치한 1개 초등학교 학생을 대상으로 하여 자료가 제한적이지만, 본 연구의 목적이 정상 소아의 폐기능의 정상참고치를 제시하고자 한 것이므로 폐기능에 영향을 줄 수 있는 인자들을 최대한 제거하여 폐기능이 정상인 소아들을 대상으로 하고자 하였고, 그 과정에서 대상자 수가 감소하였다는 문제가 있으나 폐기능의 정상참고치 제시에 필요한 최소한의 인원³⁾을 충족하고 있으며 좀 더 정상 소아에 근접하였다는 점에서 의미가 있다. 향후 더욱 광범위한 대상을 포함하고 신체계측치 외에 폐기능에 영

Table 6. Comparison of predicted values of FVC and FEV₁ with previous studies

Parameters	Gender	Domestic reports				Foreign reports			
		Authors	No.	Regression equation	Value at 130 cm	Authors	No.	Regression equation	Value at 130 cm
FVC	Male	Cho et al. ⁷⁾ (1992)	148	0.042H – 3.911	1.549	Knudson et al. ²⁰⁾ (1983)		0.041H – 3.376	1.954
		Yoon et al. ⁴⁾ (1993)	1,056	0.046H – 4.088	1.892	Ip et al. ¹¹⁾ (2000)	486	3.339Ln (H) – 15.699	1.779
		Lim et al. ³⁾ (1994)	490	0.034H – 2.636	1.784	Nystad et al. ¹²⁾ (2002)	314	0.0337H – 2.52	1.861
		Cha et al. ⁵⁾ (1994)	99	0.041H – 3.619	1.711	Torres et al. ¹³⁾ (2003)	48	39H – 3200.5	1.870
		Nam et al. ⁶⁾ (1998)	282	0.053H – 5.472	1.418	Al-Riyami et al. ¹⁴⁾ (2004)	382	2.964Ln (H) – 1.851	1.740
		This study	189	0.036H – 3.018	1.662	Jeng et al. ¹⁵⁾ (2009)	109	0.0251H – 1.629	1.634
	Female	Cho et al. ⁷⁾ (1992)	154	0.031H – 2.620	1.410	Knudson et al. ²⁰⁾ (1983)		0.043H – 3.749	1.841
		Yoon et al. ⁴⁾ (1993)	966	0.0423H – 3.696	1.803	Ip et al. ¹¹⁾ (2000)	544	3.170Ln (H) – 14.955	1.697
		Lim et al. ³⁾ (1994)	475	0.035H – 2.878	1.672	Nystad et al. ¹²⁾ (2002)	289	0.0279H – 1.93	1.697
		Cha et al. ⁵⁾ (1994)	99	0.033H – 2.738	1.552	Torres et al. ¹³⁾ (2003)	52	32.2H – 2444.8	1.741
		Nam et al. ⁶⁾ (1998)	170	0.038H – 3.533	1.407	Al-Riyami et al. ¹⁴⁾ (2004)	455	2.835Ln (H) – 13.270	1.616
		This study	217	0.036H – 3.087	1.593	Jeng et al. ¹⁵⁾ (2009)	105	0.0250H – 1.661	1.589
FEV ₁	Male	Cho et al. ⁷⁾ (1992)	148	0.034H – 2.968	1.533	Knudson et al. ²⁰⁾ (1983)		0.035H – 2.814	1.736
		Yoon et al. ⁴⁾ (1993)	1,056	0.037H – 3.277	1.452	Ip et al. ¹¹⁾ (2000)	486	3.135Ln (H) – 14.830	1.595
		Lim et al. ³⁾ (1994)	490	0.031H – 2.391	1.639	Nystad et al. ¹²⁾ (2002)	314	0.0295H – 2.11	1.725
		Cha et al. ⁵⁾ (1994)	99	0.039H – 3.506	1.564	Al-Riyami et al. ¹⁴⁾ (2004)	382	2.972Ln (H) – 13.999	1.540
		Nam et al. ⁶⁾ (1998)	282	0.049H – 5.057	1.313	Jeng et al. ¹⁵⁾ (2009)	109	0.0221H – 1.372	1.501
		This study	189	0.033H – 2.753	1.537				
	Female	Cho et al. ⁷⁾ (1992)	154	0.023H – 1.665	1.325	Knudson et al. ²⁰⁾ (1983)		0.034H – 2.758	1.662
		Yoon et al. ⁴⁾ (1993)	966	0.0319H – 2.666	1.481	Ip et al. ¹¹⁾ (2000)	544	3.080Ln (H) – 14.607	1.562
		Lim et al. ³⁾ (1994)	475	0.031H – 2.505	1.525	Nystad et al. ¹²⁾ (2002)	289	0.0251H – 1.66	1.603
		Cha et al. ⁵⁾ (1994)	99	0.033H – 2.772	1.518	Al-Riyami et al. ¹⁴⁾ (2004)	455	2.843Ln (H) – 13.392	1.380
		Nam et al. ⁶⁾ (1998)	170	0.033H – 2.941	1.349	Jeng et al. ¹⁵⁾ (2009)	105	0.0219H – 1.381	1.466
		This study	217	0.034H – 2.939	1.481				

FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in 1 second; H, height (cm).

향을 줄 수 있는 여러 인자들을 추가로 고려한 대규모 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

결론적으로, 2012년 5월에 서울지역의 정상 초등학생을 대상으로 폐기능검사를 시행하여 국내 소아의 폐기능 정상예측치를 구할 수 있는 설명력이 높은 회귀방정식을 구하였고 이를 이용하여 호흡기질환의 진단과 평가에 이용하고자 하였다. 향후 국내 전체 소아를 대변할 수 있는 대규모 연구가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Ruppel GL, Enright PL. Pulmonary function testing. *Respir Care* 2012; 57:165-75.
- 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.
- Lim DH, Kim JH, Park JH, Choi JW, Kim SK, Son BK. Normal predicted values of pulmonary function test in Korean primary school-aged children. *J Korean Pediatr Soc* 1994;37:240-9.
- Yoon KA, Lim HS, Koh YY, Kim H. Normal predicted values of pulmonary function test in Korean school-aged children. *J Korean Pediatr Soc* 1993;36:25-37.
- Cha IA, Kim KS, Kim YW, Kim KB. Normal predicted values of pulmonary function test in children. *J Korean Pediatr Soc* 1994;37:672-88.
- Nam SY, Kim KH, Hong YM, Kim GH. Normal predicted values of pulmonary function test in healthy Korean children. *J Korean Pediatr Soc* 1998;41:338-45.
- Cho A, Lee KH, Yoon HS. Expected normal values of pulmonary function test in normal children (ages 6 years through 12 years). *Allergy* 1992; 12:517-27.
- Yoon JS, Choi EY, Lee HS, Ahn YM. A study of predicted values of peak expiratory flow rates in primary school children. *J Korean Pediatr Soc* 1991;34:487-96.
- Yang SY, Na MJ, Choi WH, Kim KW. Expected normal values of pulmonary function test in pediatric age 1. by spirometry. *J Korean Pediatr Soc* 1989;32:206-14.
- Lim SY, Lee KY. A study on predicted values of peak expiratory flow rate (PEER) in primary school children. *J Korean Pediatr Soc* 1986;29:1104-13.
- Ip MS, Karlberg EM, Karlberg JP, Luk KD, Leong JC. Lung function reference values in Chinese children and adolescents in Hong Kong. I. Spirometric values and comparison with other populations. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162(2 Pt 1):424-9.

12. Nystad W, Samuelsen SO, Nafstad P, Edvardsen E, Stensrud T, Jaakkola JJ. Feasibility of measuring lung function in preschool children. *Thorax* 2002;57:1021-7.
13. Torres LA, Martinez FE, Manco JC. Correlation between standing height, sitting height, and arm span as an index of pulmonary function in 6-10-year-old children. *Pediatr Pulmonol* 2003;36:202-8.
14. Al-Riyami BM, Al-Rawas OA, Hassan MO. Normal spirometric reference values for Omani children and adolescents. *Respirology* 2004;9:387-91.
15. Jeng MJ, Chang HL, Tsai MC, Tsao PC, Yang CF, Lee YS, et al. Spirometric pulmonary function parameters of healthy Chinese children aged 3-6 years in Taiwan. *Pediatr Pulmonol* 2009;44:676-82.
16. Korea Centers for Disease Control and Prevention, Division of Chronic Disease Surveillance, Committee for the Development of Growth Standard for Korean Children and Adolescents; Korean Pediatric Society, Committee for School Health and Public Health Statistics. 2007 Korean Children and Adolescents Growth Standard (commentary for the development of 2007 growth chart). Cheongwon: Korea Centers for Disease Control and Prevention, Division of Chronic Disease Surveillance, 2007.
17. Gehan EA, George SL. Estimation of human body surface area from height and weight. *Cancer Chemother Rep* 1970;54:225-35.
18. Primhak RA, Biggins JD, Tsanakas JN, Hatzimichael A, Milner RD, Karpouzas JG. Factors affecting the peak expiratory flow rate in children. *Br J Dis Chest* 1984;78:26-35.
19. Morse M, Schlutz FW, Cassels DE. The lung volume and its subdivisions in normal boys 10-17 years of age. *J Clin Invest* 1952;31:380-91.
20. Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ, Burrows B. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am Rev Respir Dis* 1983;127:725-34.
21. Thurlbeck WM. Postnatal human lung growth. *Thorax* 1982;37:564-71.
22. Crapo RO, Morris AH, Gardner RM. Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations. *Am Rev Respir Dis* 1981;123:659-64.
23. Schoenberg JB, Beck GJ, Bouhuys A. Growth and decay of pulmonary function in healthy blacks and whites. *Respir Physiol* 1978;33:367-93.
24. Peabody FW, Wentworth JA. Clinical studies of the respiration. IV. The vital capacity of the lungs and its relation to dyspnea. *Arch Int Med* 1917; 20:443-67.
25. Lundsgaard C, Van Slyke DD. Studies of lung volume. I: relation between thorax size and lung volume in normal adults. *J Exp Med* 1918;27:65-86.
26. Dockery DW, Berkey CS, Ware JH, Speizer FE, Ferris BG Jr. Distribution of forced vital capacity and forced expiratory volume in one second in children 6 to 11 years of age. *Am Rev Respir Dis* 1983;128:405-12.
27. Leeder SR, Swan AV, Peat JK, Woolcock AJ, Blackburn CR. Maximum expiratory flow-volume curves in children: changes with growth and individual variability. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1977;13:249-60.
28. Taussig LM, Cota K, Kaltenborn W. Different mechanical properties of the lung in boys and girls. *Am Rev Respir Dis* 1981;123:640-3.
29. Taussig LM. Maximal expiratory flows at functional residual capacity: a test of lung function for young children. *Am Rev Respir Dis* 1977;116: 1031-8.
30. Zapletal A, Jech J, Paul T, Samanek M. Pulmonary function studies in children living in an air-polluted area. *Am Rev Respir Dis* 1973;107:400-9.
31. Tager IB, Weiss ST, Munoz A, Rosner B, Speizer FE. Longitudinal study of the effects of maternal smoking on pulmonary function in children. *N Engl J Med* 1983;309:699-703.