

2007 한국 소아청소년 성장곡선 및 정상혈압 분포 개발 방법론

아주대학교 의과대학 예방의학교실, 연세대학교 보건대학원*, 질병관리본부 만성병 조사팀[†]
 수원대학교 통계정보학과[‡], 인제대학교 의과대학 소아과학교실[§], 연세대학교 의과대학 예방의학교실^{||}

이순영 · 김윤남* · 강연지 · 장명진[†] · 김진흠[‡] · 문진수[§] · 이종국[§] · 오경원[†] · 김영택[†] · 남정모^{||}

The methodology for developing the 2007 Korean growth charts and blood pressure nomogram in Korean children and adolescents

Soon Young Lee, Youn Nam Kim*, Yeon Ji Kang, Myoung-Jin Jang[†], Jinheum Kim[‡]
 Jin Soo Moon[§], Chong Guk Lee[§], Kyungwon Oh[†], Young Taek Kim[†] and Chung Mo Nam^{||}

Department of Preventive Medicine & Public Health, Ajou University School of Medicine
*Graduate School of Public Health, Yonsei University**
Division of Chronic Disease, Surveillance, Korea Centers for Disease Control and Prevention[†]
Department of Applied Statistics, Suwon University[‡]
Department of Pediatrics, Inje University Ilsan Paik Hospital[§]
Department of Preventive Medicine, Yonsei University College of Medicine^{||}

Purpose: This study was to provide the methods of developing the growth charts and the blood pressure nomogram among Korean children and adolescents.

Methods: The growth charts were developed based on the data from the national growth surveys for children and adolescents in 1998 and 2005. The percentile charts were developed through two stages. At the first stage, the selected empirical charts were smoothed through several fitting procedures including parametric and non-parametric methods. At the second stage, a modified LMS (lambda, mu, sigma) statistical procedure was applied to the smoothed percentile charts. The LMS procedure allowed to estimate any percentile and to calculate standard deviation units and z-scores. The charts for weight-for-age, height-for-age, BMI-for-age, weight-for-height and head circumference-for-age were developed by sex. Age and normalized height controlled sex-specific nomograms of systolic and diastolic blood pressure were developed by a fixed effect model of general regression using the data from 2005 national growth survey.

Results: The significant systemic differences between the percentiles of growth charts and the empirical data were not found. The final output of the study is available from Korean Center for Disease Control and Prevention homepage, <http://www.cdc.go.kr/webcdc/>. Blood Pressure nomogram was tabulated by height percentiles and age using the regression coefficients analyzed with regression model.

Conclusion: 2007 growth charts and blood pressure nomogram were the first products based on the statistical modeling using the national survey data. The further study on the methodology including data collection, data cleaning and statistical modeling for representative growth charts would be needed.

(*Korean J Pediatr* 2008;51:26-32)

Key Words: Growth chart, Blood pressure nomogram, LMS method

서 론

접수: 2007년 12월 14일, 승인: 2008년 1월 9일
 본 연구는 2006년 보건복지부 국가 지원 사업으로 이루어짐
 책임저자: 남정모, 연세대학교 의과대학 예방의학교실
 Correspondence: Chung Mo Nam, Ph.D.
 Tel: 02)2228-1871 Fax: 02)392-8133
 E-mail: cmnam@yuhs.ac

출생 이후 성인에 이르는 소아청소년의 연령별 성장곡선은 인
 구집단의 대표성 있는 자료를 수집 활용하여 현 집단의 성장분
 포를 제시할 뿐 아니라 발육의 과정을 모니터링 할 수 있는 참
 고치로서 임상 또는 보건학적인 측면에서 개인을 평가하고자 하

는데 주된 목적이 있다. 즉, 성장곡선은 현재 소아청소년의 성장 분포를 반영(description)하되, 비만이나 저체중 등의 기준을 제시할 수 있는 기준(standard)이 된다.

우리나라에서는 과거 보건사회부와 대한소아과학회의 공동 연구로 1965년, 1975년과 1985년에 정상 소아 신체 발육치, 1996년에 한국 소아 발육 표준치가 제정되었으나¹⁻³⁾ 실제 수집된 자료에 대한 경험적 백분위수 분포를 제시한 것으로 역학 및 임상에서 실제 활용될 수 있는 안정적인 성장곡선 개발을 위해서는 발전된 통계적 모형 적용이 필요하였다. 1900년 대 초기로부터 성장곡선을 개발해 온 미국의 경우, 약 20년 주기로 성장곡선을 수정 보완해 왔는데, 1977년 미국보건통계센터에서 제정한 성장도표(growth chart)가 현 인구의 발육 상태를 잘 반영하지 못하는 것으로 지적되면서 2000년 성장곡선을 개발하게 되었다. 이 과정에서 대상연령 및 백분위수가 확대되고 BMI 도표가 포함되는 등의 발전과 함께 통계적 기법 즉, 성장곡선 개발에 필요한 평활화(smoothing) 절차 등의 방법론이 정리되고 적용되었다. 이때 사용된 LMS 절차는 최근 대표적인 성장곡선 추정방법으로 2006년 세계보건기구의 성장곡선개발에서도 사용되었다.

본 연구는 1998년과 2005년 신체발육표준 제정사업 자료를 이용하여⁴⁾ 2007년 소아청소년 성장곡선의 개발연구에서⁵⁾ 이용된 성장곡선 및 혈압분포 개발 방법론을 제시하고자 한다.

대상 및 방법

1. 성장곡선 개발

1) 분석과정

연령별 체중, 신장, BMI, 머리둘레 성장곡선을 추정하기 위한 과정은 다음과 같은 두 단계 과정으로 이루어졌다. 첫 번째는 자료 및 백분위수 정리단계(cleaning the data)로서 데이터 이상치를 제거하고, 연령별 지역 가중치를 부여한 후 1998년 및

2005년 연도별 각 백분위수를 산출하며, 이를 이용하여 평균 백분위수를 산출하였다. 두 번째 단계는 산출된 백분위수를 이용하여 성장곡선을 개발하는 단계(developing the growth curve)로서, 산출된 백분위수를 이용해서 각 성장곡선 모형을 추정하고, LMS(lambda, mu, sigma)를 추정하여 최종 성장곡선을 개발하였다(Fig. 1).

2) 분석에 사용한 자료

성장곡선을 추정하기 위하여 사용한 자료원은 다음과 같은 두 가지 연도별 대규모 조사자료이다. 첫 번째 자료는 2005년 소아 발육표준치 제정사업 자료이고, 두 번째 자료는 1998년(정식 이름)이다. 2005년 자료는 성장곡선을 개발하는 현 시점의 신체계측치 분포를 대표할 수 있으나 우리나라 소아청소년의 표준 성장곡선을 추정하는 자료원으로서 최근의 신체의 변화를 크게 반영하고 있다. 따라서 이를 보완하기 위하여 2005년 소아발육표준치 제정사업 자료에 1998년 자료를 같이 이용하여 성장곡선을 개발하였다.

3) 자료의 정리

이상치는 모든 자료를 조사년도, 성별로 나눈 후, 신장을 2 cm 단위로 범주화하여 각 범주별 체중분포에서(중앙값+3×상위 표준편차) 이상이거나(중앙값-3×하위 표준편차)이하인 데이터로 정의하였다. 신장별 체중분포는 오른쪽으로 긴 꼬리를 가지므로 중간값을 중심으로 상위 표준편차와 하위 표준편차를 각각 계산하였다. 이들 이상치는 신장에 비해 극단적인 과체중이거나 저체중으로서 분석대상에서 제외하였다. 분석에서 제외한 이상치 비율은 전체 조사 표본수의 1%내 이었다(Table 1).

4) 지역 가중치를 적용한 백분위수 산출

0-18세의 경우, 성, 연령별로 분류하여 3개 지역(중부권, 경상권, 전라권)별 백분위수를 구하고 지역별 인구비율을 가중치로 두고 가중평균 하였다. 예로 여자 7세 연령의 지역 가중치를 적용한 95 백분위수는 여자 7세의 2005년 전국 인구수 N, 중부권 인구수 N₁, 경상권 인구수 N₂, 전라권 인구수 N₃이고 중부권,

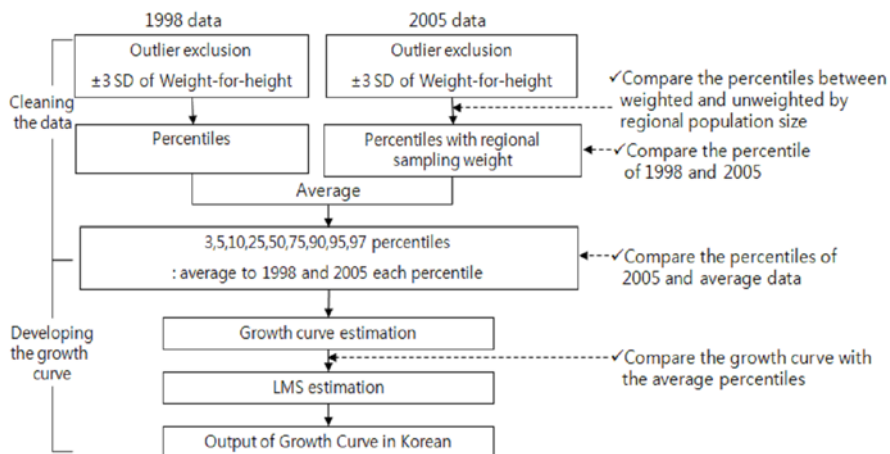


Fig. 1. The research process for the development of the 2007 growth chart.

Table 1. Sample Sizes and Characteristics to Develop 2007 Growth Chart

Charts by year	Data Range	Sample size*	
		before	after
1998			
Weight/Height/BMI-for-age	Age (0-20 yrs)	56,018/50,493	55,626/50,140
Weight-for-height	Height (44-186/174 cm)	56,018/50,493	55,626/50,140
Head circumference-for-age	Age (0-6 yrs)	30,825/28,160	30,559/27,947
2005			
Weight/Height/BMI-for-age	Age (0-25 yrs)	74,854/67,633	74,350/67,151
Weight-for-height	Length (44-186/174 cm)	74,854/67,633	74,350/67,151
Head circumference-for-age	Age (0-6 yrs)	43,346/37,954	42,962/37,639
BP-for-age and height	Age (7-20 yrs)	27,497/25,800	27,403/25,657

*sample size before and after excluding outlier. Abbreviation : BMI, body mass index

경상권, 전라권의 각 지역 표본으로부터 구한 95 백분위수를 각각 $p_{1,95}$, $p_{2,95}$, $p_{3,95}$ 라고 할 때, 지역 가중치를 적용한 95 백분위수(p_{95})는 다음 식과 같다. 지역가중치는 2005년 자료에 적용하였고 1998년 자료는 가중치 없이 원자료를 이용하였다.

$$p_{95} = \frac{N_1 p_{1,95} + N_2 p_{2,95} + N_3 p_{3,95}}{N}$$

5) 1998년+2005년 평균 백분위수 산출

자료정리 후 1998년과 2005년에서 산출한 성별, 연령별 백분위수의 평균값으로 평균 백분위수를 산출하였다. 21세 이상 백분위수는 연령별 체중, 연령별 BMI의 성장곡선을 추정하는데 보조적으로 이용하였다. 1998년 자료에는 21세의 백분위수가 없으므로 19세, 20세의 각 백분위수 중 큰 값으로 대체하였다.

6) 성장곡선 추정방법

성장곡선은 2 단계, 즉 평활화(smoothing) 단계와 LMS 단계를 통해 추정하였다. 먼저, 우리나라 성장곡선을 추정하기 위해 2002년 미국 CDC에서 발표한 연령별 체중, 연령별 신장, 연령별 BMI, 신장별 체중, 연령별 머리둘레의 성장곡선 추정방법과 성장곡선 모형⁶⁾을 기본으로 적용하되, 우리나라 자료 형태에 맞추어 변경하였다. 성장곡선 모형 분석은 SAS 8.2를 이용하였다.

(1) 평활화 단계

각 백분위수의 평활화 단계에서는 3, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95, 97 백분위수를 추정하였으며, 연령별 BMI는 85 백분위수를 추가하였다. 평활화 단계에 사용한 모형은 국소가중회귀모형(locally weighted regression, LWR), 다항회귀모형(polynomial regression), 3개의 모수를 갖는 선형회귀모형(3-parameter linear regression), 10개의 모수를 갖는 비선형회귀모형(non-linear regression)을 이용하여 적합 하였다(Table 2). 다항회귀모형과 선형회귀모형은 모두 일반적인 모수적 회귀모형 형태이며, 비선형회귀모형은 모수의 초기값을 변경하면서 최소의 오차 제곱합을 갖는 최적의 모형을 찾아가는 회귀모형이다. LWR은 데이터를 국소적 범위로 옮겨가면서 가중회귀모형을 적용하여 데이터를 평활화 한 후 이들 평활화된 자료를 이용하여 재평활하는 방법이다. 예를 들어 어떤 데이터(X_0)에 대해 15-points LWR로

추정하는 과정은 다음과 같다. 자신의 X_0 를 포함해서 왼쪽 데이터 7개, 오른쪽 데이터 7개를 포함한 데이터(X_i , $i=1,2,\dots,15$)가 국소적 범위(ΔX)가 되고 각 X_i 의 가중치(Weight_i)는 Fig. 2의 식과 같다. 15개 데이터에 대한 가중회귀모형으로 X_0 를 추정할 값은 X_0 의 평활화 된 데이터가 되고, 모든 데이터를 동일한 방법으로 평활화 한 후, 본 연구에서는 3차 다항식을 적용하여 각 퍼센타일 성장곡선을 평활화 하였다(Fig. 2).

(2) LMS 단계

앞서 추정된 각 백분위수를 이용하여 수정된 LMS 방법을 적용⁶⁾해서 최종 성장곡선을 제시하였다. 여기서 L은 Box-Cox Power(λ)를, M은 Median을, S는 Coefficient of Variation을 의미한다. 수정된 LMS방법은 LMS 함수의 오차제곱합을 최소화시키는 최적의 방법으로 L, M, S의 초기값을 바꿔가면서 최소의 오차제곱합을 갖는 모형을 선택하였다. 연령별 체중, 연령별 신장, 신장별 체중, 연령별 머리둘레는 앞서 성장곡선 방법에 의해 추정된 9개의 백분위수(3, 5, 10, 15, 25, 50, 75, 90, 95, 97), 그리고 연령별 BMI는 85 백분위수를 포함하여 10개의 백분위수를 이용하여 특정 성-연령군에서 L, M, S를 추정하였다. 신장별 체중은 성별 해당 신장에서의 L, M, S를 추정하였다.

2. 혈압분포 개발

1) 분석에 사용한 자료

2005년 소아청소년 발육치 제정사업에서⁴⁾ 측정된 7-20세의 혈압 및 신장자료 중 이상치를 제외한 남녀 각각 27,403명, 25,657명의 자료를 사용하였다.

2) 혈압 분포 추정방법(7-20세)

연령과 신장별 혈압 성장곡선은 2004년 미국 NHLBI(National Heart, Lung and Blood Institute)의 Task force팀에서 적용한 방법⁷⁾을 우리나라 혈압 데이터에 응용하였다. 연령과 신장별 혈압 성장곡선은 다음 식의 고정효과모형(fixed effect model)을 적용하였는데, 여기서 μ 는 수축기혈압 또는 이완기혈압(mmHg)이고 y 는 년 단위의 연령 값이고 Zht 는 해당 아동의 신장치를 ‘연령별 신장’곡선에서 추정된 LMS에 의해 환산한 백

Table 2. Models Used for Smoothing Growth Chart in the Study and CDC 2000

2007 Korea	CDC 2000 (USA) ⁶⁾
<p>Weight-for-age</p> <p>1) 0-3 yrs : 3-parameter linear model</p> <p>2) 2-6 yrs : 15/17-points LWR</p> <p>3) 7-20 yrs : 7/9-points LWR</p> <p>4) All results from 1), 2) and 3) were combined and refit at mid-points of age intervals from 2 to 20 years using a 10/9-parameter polynomial regression model.</p> <p>* 0-3 yrs were smoothed using 1) but 2-3 yrs were adjusted by weighed average of 1) and 4)</p> <p>Height-for-age</p> <p>1) 0-3 yrs : 3-parameter linear model</p> <p>2) 2-20 yrs : 10-parameter nonlinear regression model</p> <p>* 2-3 yrs were adjusted by weighed average of 1) and 2).</p> <p>BMI-for-age</p> <p>1) 2-12 yrs : 5-points LWR</p> <p>2) 13-20 yrs : 13/15-points LWR</p> <p>3) Results of 1) and 2) were applied to 4-parameter polynomial regression model.</p> <p>Weight-for-height</p> <p>Length (44-186/174cm) : 7-parameter polynomial regression model</p> <p>Head circumference-for-age</p> <p>0-6 yrs: 3-parameter linear model</p>	<p>1) 0-3 yrs : 3-parameter linear model</p> <p>2) 2-20 yrs: 15/17-points LWR</p> <p>3) All results from 1)and 2) were combined and refit at midpoints of age intervals from birth to 20 years using a 10/9-parameter polynomial regression model</p> <p>1) Length-for-age (0-3 yrs) : 3-parameter linear model</p> <p>2) Stature-for-age (2-20 yrs) : 10-parameter nonlinear regression model</p> <p>* 2-3 yrs (length-for-age=stature+0.8 cm) were used model estimates respectively.</p> <p>1) 2-12 yrs: 5-points LWR</p> <p>2) 13-20 yrs: 25/27-points LWR</p> <p>3) Results of 1) and 2) were applied to 4-parameter polynomial regression model.</p> <p>Weight-for-length (44-103 cm)/ weight-for-stature (77-121 cm) : before fitting the model to data, 0.8 cm was subtracted from each empirical recumbent length data point. The combined adjusted weight-for length and weight-for-stature data were smoothed with 5-parameter polynomial regression model.</p> <p>* After applying LMS, separate weight-for-stature curves were created by adding 0.8cm back to length.</p> <p>0-3 yrs: 3-parameter linear model</p>

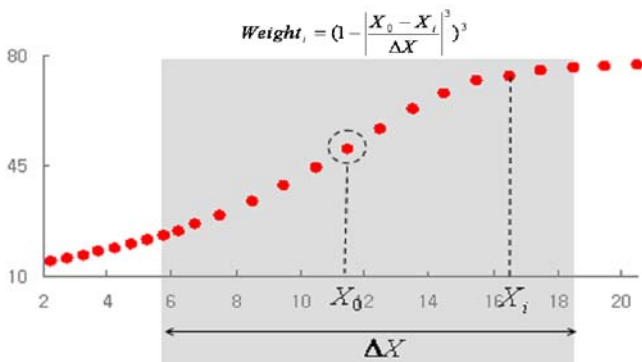


Fig. 2. Locally weighted regression model.

분위수의 표준정규분포 값이다.

$$\mu = \alpha + \sum_{j=1}^4 \beta_j (y-10)^j + \sum_{k=1}^4 \gamma_k (Zht)^k$$

추정한 α , β , γ 로부터 각 연령과 표준화 신장치(Zht)에 대한 50, 90, 95, 99 백분위수 수축기/이완기 혈압을 추정하였다. 연령은 7-20세의 1세 간격으로 입력하고 표준화 신장치(Zht)는

5, 10, 25, 50, 75, 90, 95의 신장 백분위수에 해당 표준정규분포 값(-1.645, -1.282, -0.674, 0, 0.674, 1.282, 1.645)을 대입하여 계산한 혈압(μ)은 해당되는 연령과 신장의 50 백분위수 혈압이 된다. 90, 95, 99 백분위수 혈압은 모형에서 추정된 혈압(μ)의 표준편차에 90, 95, 99 백분위수의 표준정규분포 값(1.282, 1.645, 2.326)을 곱하여 추정하였다.

결 과

앞서 기술한 개발방법에 근거하여 소아 청소년의 연령별 체중, 연령별 신장, 연령별 BMI, 신장별 체중 및 연령별 머리둘레의 성장곡선과 혈압분포 모형을 개발하였으며⁵⁾ 개발된 최종 성장곡선 개발 결과는 질병관리본부 홈페이지(<http://www.cdc.go.kr>)를 통해 공개된다⁸⁾. 본 연구결과에서는 연구개발과정 중에 산출된 중간결과를 중심으로 기술한다(결과표는 지면제한상 제시하지 않음).

1. 2005년 지역 가중치 적용 전·후 백분위수 비교

2005년 연령별 체중, 연령별 신장, 연령별 BMI, 연령별 머리둘레에 대해서 지역 가중치를 적용하기 전과 후의 백분위수를 비교하였다. 지역 가중치를 적용하기 전과 후의 백분위수는 전반적으로 큰 차이가 없었으며 3, 5, 95, 97 백분위수에서 소폭 증가하거나 감소하는 차이가 있으나 일정한 패턴은 보이지 않았다.

2. 1998년 백분위수와 2005년 가중백분위수 비교

두 해의 자료를 통합하기 전 연령별 체중, 연령별 신장, 연령별 BMI, 연령별 머리둘레에 대해서 1998년 데이터의 백분위수와 2005년 가중백분위수의 자료를 비교하였다. 1998년에 비해 2005년 연령별 체중, 연령별 신장, 연령별 BMI, 연령별 머리둘레, 신장별 체중의 각 백분위수 값이 증가하였으며, 특히 2005년 연령별 체중과 연령별 BMI, 신장별 체중의 경우 시작적으로 50, 75, 90, 95, 97, 99 백분위수 값의 증가가 컸으며 오른쪽으로 더욱 긴 꼬리를 갖는 치우쳐진 분포를 보였다. 이 차이는 남자 12세 이상 청소년 시기의 백분위수에서 뚜렷하였다. 1998년 남자 BMI 85백분위수는 19세에 최고 24.52 kg/cm²로 25 kg/cm²을 넘지 않는 반면 2005년 남자 BMI 85백분위수는 13-20세 모두 25 kg/cm²을 넘었고, 2005년 여자 BMI는 1998년에 비교해서 16세 이상에서 감소하는 특징을 보이고 BMI 범위도 증가하였다. 전체적으로 체중과 BMI의 경우 1998년에 비해 2005년 백분위수 범위가(즉 3-97백분위수) 넓어졌다.

3. 2005년 가중백분위수와 1998년+2005년 평균 백분위수 비교

연령별 체중, 연령별 신장, 연령별 BMI, 연령별 머리둘레에 대해서 2005년 지역 가중치를 적용한 가중백분위수는 1998년 백

분위수와 2005년 가중백분위수의 산술평균으로 계산된 1998년+2005년 평균 백분위수와 비교하였고 신장별 체중은 2005년 지역 가중치를 적용하지 않은 백분위수와 1998년+2005년 평균 백분위수를 비교하였다. 연령별 체중, 연령별 신장, 연령별 BMI, 연령별 머리둘레, 신장별 체중의 1998년+2005년 평균 백분위수는 2005년에 비해 전반적으로 소폭 감소하였고 변동의 폭이 줄어 상대적으로 안정된 형태를 보였다. 특히 2005년에서 두드러져 보였던 연령별 체중, 연령별 BMI의 오른쪽으로 긴 꼬리를 가진 치우쳐진 분포의 경향이 소폭 줄었다.

4. 1998년+2005년 평균 백분위수와 개발된 최종 성장곡선과의 비교

최종 개발된 연령별 체중, 연령별 신장, 연령별 BMI, 신장별 체중, 연령별 머리둘레 성장곡선은 전반적으로 두 자료의 평균 백분위수에 매우 적합 되었다. 하지만, 연령별 체중, 연령별 머리둘레 성장곡선은 연령 3-12개월에서 백분위수보다 다소 낮게 추정되는 경향을 보였다. 연령별 체중 성장곡선은 3-12개월에서 백분위수보다 0.1-0.2 kg정도 낮게 추정되었고 연령별 머리둘레 성장곡선은 0.2-0.8 cm정도 낮게 추정되었다.

5. 혈압분포 개발 결과

추정된 회귀계수와 표준편차는 Table 3와 같으며, 상수(α)는 50백분위수 신장을 가진 10세 아동의 50백분위수 혈압으로 볼 수 있다. 우리나라 50백분위수 신장을 가진 10세 남자의 50백분위수 수축기 혈압은 104.5 mmHg, 이완기 혈압은 59.6 mmHg, 여자의 경우 수축기 혈압은 103.4 mmHg, 이완기 혈압은 56.0 mmHg이었다. 이를 이용하여 연령과 신장백분위수별 수축기 및 이완기 혈압 분포를 생산하였다⁵⁾.

고 찰

2007 한국소아청소년 성장곡선 개발에 있어 미국의 CDC 2000 성장곡선 개발 과정과 세계보건기구의 Multicentre Growth Reference Study(MGRS) 개발과정 및 분석방법을 참고하였다.

본 연구에서는 1998년 및 2005년 조사 자료를 사용하였고, 1998년 이전 신체계측자료는 고려하지 못하였다. 미국 CDC 2000 성장곡선 개발에는 1963-1994년 수집된 2개의 National Health Examination Survey(NHES)의 자료와 3개의 National Health and Nutritional Survey(NHANES) 자료를 중심으로 하고 추가 보조자료를 활용하였다⁶⁾. 최근의 자료만으로 성장곡선을 개발하는 경우 상대적으로 비만인구가 증가하는 현재의 수준을 그대로 반영하게 되어 특히 체중과 BMI 분포 및 비만의 기준 등이 증가하는 문제가 있다. 따라서 과거 30년간 데이터를 통합(pooling) 하는 것은 충분한 표본수를 확보하여 안정적인 보완된 곡선을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 향후 국내 성장곡선을 개발하는 경우에도 모든 가능한 자료(1998년, 2005년 자료를 포함)를 함

Table 3. Regression Coefficients from Blood Pressure Regression Models

Variables	Systolic BP		Diastolic BP		
	Male	Female	Male	Female	
Constant	a	104.5391	103.4481	59.5567	58.9688
Age(year)					
Age-10	β_1	1.52583	1.22710	0.41282	0.48253
(Age-10) ²	β_2	0.24947	-0.07233	-0.00292	0.01780
(Age-10) ³	β_3	-0.01947	-0.01175	-0.00265	-0.00061
(Age-10) ⁴	β_4	0.00062	0.00230	0.00075	0.00007
Normalized height (Zht)					
Zht	γ_1	2.77300	1.92821	0.85444	0.76145
Zht ²	γ_2	0.17028	0.36102	0.01654	0.14436
Zht ³	γ_3	-0.04358	-0.01842	-0.02434	-0.02829
Zht ⁴	γ_4	0.00177	-0.01651	0.00877	-0.00610
Standard deviations		12.06416	11.02304	7.93985	7.55387
N		27,403	25,657	27,403	25,657

계 통합하여 개발하는 것이 고려되어야 할 것이다.

성장곡선 개발에 앞서 각 신체변수 분포의 이상치를 정의하고 이들을 제외하였다. CDC 2000 성장곡선 개발에 있어서는 모든 극소 저체중 출생아(VLBW <1,500 g) 자료, 연령에 따른 체중, 신장에 따른 체중, 연령에 따른 BMI 곡선 개발에 있어 NHANES III의 6세 이상 아동의 자료, 그리고 누운키와 선키와 차이가 5 cm 이상인 3세 이하 아동들의 자료는 연령에 따른 신장, 신장에 따른 체중, 연령에 따른 체중, 신장에 따른 체중, 연령에 따른 BMI 곡선 등의 개발에서 제외되었다⁶⁾. 우리나라 2005년 자료의 경우, 16개 지역, 성, 연령 범주별 조사 단위의 최소 표본 수는 40명으로 정하여 각 인구수에 비례해서 할당하여 조사를 수행한 결과, 성, 연령, 지역별로는 조사 완료 비율이 0-300%로 표본수를 채우지 못하거나 3배 이상으로 자료가 수집되는 등의 변이가 있었다. 이로 인해 자료구축 과정에서 사후 지역가중치를 적용하여 보완하고자 하였다.

분석결과 지역 가중치를 적용하기 전과 후 큰 차이가 없었으나, 지역적 특성과 특정지역으로 편중된 표본수로 인해 우리나라 표본의 대표성이 떨어질 것을 고려해서 비슷한 지역 특성을 가지면서 지역별 백분위수를 대표할 수 있는 최소한의 표본수를 유지한 중부권, 경상권, 전라권 세 지역에 대한 가중치를 적용한 가중백분위수를 성장곡선 추정에 이용하였다. 단, 19-21세의 경우 표본수가 적어 각 지역에서 구한 해당 연령의 체중, 신장 백분위수는 그 지역을 대표하기 힘들 것으로 판단하여 지역 가중치를 적용하지 않은 백분위수를 산출하였다. 1998년 자료는 지역가중치를 시도 하고자 하였으나 데이터베이스에서 지역코드가 불명확 하여 수행할 수가 없었다.

한편 3세 이하의 신장(height)은 누운 키(recumbent length)와 선키(stature)를 구분하는데, 우리나라의 경우 자료수집 당시 신장을 따로 구분하지 않았으나 0-2세는 대부분 누운 키로 측정하였고 3-20세는 대부분 신장으로 측정된 것으로 추측된다. 그러나 실제 개인자료에서 누운 키로 측정된 것인지 선키로 측정된 것인지 구분이 불가능 하여 누운 키와 선키를 구분하여 분석하지 않았다.

본 연구에서의 통계기법은 미국 CDC 2000 성장곡선 개발과정에서 사용된 모델을 국내 상황에 맞추어 변형하여 활용하였다. WHO 성장곡선 개발을 위한 통계방법은 각 성장곡선의 최적의 모형을 선정하는 과정과 통계프로그램에는 차이가 있지만 기본적으로는 LMS 방법을 활용하였다. 성장곡선 추정에 대한 통계적 절차는 두 단계로 수행되었는데 선택된 주요 백분위수 곡선의 평활화(smoothing)는 다양한 모수적 또는 비모수적 절차를 활용하였으며(평활화 단계), 두 번째 단계인 표준화 절차는 평활화 곡선과 아주 밀접하게 맞춘 표준점수(z-scores)를 산출할 수 있는 추정 단계이다(LMS 단계)⁹⁾.

평활화 곡선은 9개의 백분위수에 적용되었으며(3rd, 5th, 10th, 25th, 50th, 75th, 90th, 95th, and 97th), BMI곡선에는 85백분위수가 추가 개발되었다. 미국과 본 연구에서 이용한 모형의 비

교는 Table 3과 같다. LWR을 통해 평활화 시킨 백분위수로 성장곡선을 추정하는 것은 원데이터를 바로 이용하여 추정하는 것보다 극단적인 백분위수의 영향을 덜 받는 장점을 가진다. 2단계는 1단계에서 생성된 평활화된 자료에 LMS 변환 모형(미선형모형)을 적용하여 연령 그룹별, 키 그룹별로 모수(lambda, mu, sigma)를 추정하였다.

시각적으로 최종 추정된 성장곡선은 백분위수에 특이한 패턴 없이 잘 적합한 것으로 판단하였다. 이 연구에서는 모형의 과적합(over fitting)으로 인한 문제를 줄이기 위해 일차적으로 2000년 미국 CDC에서 적용한 성장곡선 모형을 우리나라 자료에 적용을 시도하고, 만약 모형 적합에 문제가 있는 경우 우리나라 자료에 보다 적합한 모형을 찾는 2단계로 분석하였다. 이는 소아발육에 대한 성장곡선 패턴은 유전, 인종, 민족보다는 사회경제적 환경, 영양, 건강관리상태가 성장에 훨씬 큰 영향을 준다는 연구에 근거할 수 있다⁶⁾. 따라서 자료 분석 전에 이미 모형이 설정되어 있고, 이 연구에서 적용한 최종모형은 사전에 설정한 모형이므로, 자료에 근거하여(data-driven) 나타나는 과적합 문제는 상대적으로 적을 것으로 예상된다.

성장곡선이 “reference data(참고치)”인지, 아니면 “standard(표준치)”로써의 활용을 목적으로 하는지에 대한 의견은 분분하지만 미국의 경우는 CDC 2000 성장곡선 개발전 “reference data”로 합의되었다. 따라서 성장도표(growth chart)는 각 아동의 판정 및 모니터링과 모집단의 스크리닝에 사용되며, 이는 진단 기준이 아니라 아동의 일반적인 건강상태를 평가하고자 할 때 다른 정보들과 함께 사용되어야 한다고 권고하였다¹⁰⁾. 그러나 2000년 CDC 성장곡선개발을 하면서 NHANES III 체중자료를 제외한 것은 단순한 참고치 보다는 표준치의 개념을 일부 포함하고자 하는 것으로 해석할 수 있으며, 실제로 과거에 개발된 미국 성장곡선을 비교해 보면 과거 기준보다 더 보수적으로 비만 기준치가 낮아졌다. 한편, WHO의 Multicentre Growth Reference Study(MGRS)는 아동이 어떻게 성장하는가를 단순히 보여주는 참고치를 제시하는 것보다 아동이 어떻게 성장해야 하는가의 표준치를 보여줌으로써 전 세계 어린이의 성장과 발육을 평가할 수 있는 도구로 활용되고, 궁극적으로 생물학적 성장의 “표준”에 가장 근접하게 도달하는 국제적 “참고치”를 제공하고자 한 것으로 이용목적이 다르다¹¹⁾.

본 연구에서는 성장곡선이 현 소아청소년의 신체발육상태를 반영하되 최근의 급격한 신체변화를 보완하기 위하여 1998년 자료를 추가하여 사용함으로써 바람직한 성장상태에 접근하도록 노력하였다.

요 약

목적 : 1998년과 2005년 신체발육표준 제정사업 자료를 이용하여 2007년 소아청소년 성장곡선의 개발과정에서 이용된 성장곡선 및 혈압분포 개발 방법론을 제시하고자 하였다.

방법 : 성장곡선은 1998년과 2005년 자료를 이용해서 각 백분위수의 성장곡선 모형을 추정하고 LMS를 방법을 이용하여 최종 성장곡선을 생산하였다. 연령과 신장별 혈압 성장곡선은 2005년 자료를 이용하여 남녀별로 고정효과 회귀모형을 적용하여 산출하였다.

결과 : 2007 소아청소년 성장곡선 및 혈압분포 표를 제시할 수 있었다.

결론 : 2007년 성장곡선과 혈압분포 표는 현재 가용한 자료와 최신의 통계적 방법을 최대한 활용한 국내 최초의 결과로서 향후 지속적인 발전을 위한 논의와 연구가 필요하다.

References

- 1) Moon HR, Yun DJ. Height and weight (and other measurements) of children in Korea 1975. *J Korean Pediatr Soc* 1978;21:183-97.
- 2) Shim TS, Ko KW. Physical Growth of Children in Korean, 1985. *J Korean Pediatr Soc* 1986;29:1-22.
- 3) Choi YM, Cha SH, Lee DH, Hong CH, Lee JK, Yang SW, et al. Normal value of body measurement in Korean children and adolescents. Final report. Gwacheon (Korea): Ministry of Health and Welfare(Korea); 1999.
- 4) Lee CG, Choi JM, Moon JS, Choe BK, Son CS, Yang SW, et al. 2005 Korean national survey of children and adolescents to establish the reference standard of growth and blood pressure. Final report. Gwacheon (Korea): Ministry of Health and Welfare (Korea); 2006.
- 5) Lee SY, Nam CM, Kim JH, Oh KW, Kim YN, Kang YJ, et al. Development of growth curves and the criteria of obesity in Korean children and adolescents. Final report. Gwacheon (Korea): Ministry of Health and Welfare (Korea); 2007.
- 6) Kuzmarski RJ, Ogden CL, Guo SS, Grummer-Strawn LM, Flegal KM, Mei Z, et al. 2000 CDC Growth Charts for the United States: methods and development. *Vital Health Stat* 11. 2002;(246):1190.
- 7) National High Blood Pressure Education Program Working Group on High Blood Pressure in Children and Adolescents. The fourth report on the diagnosis, evaluation, and treatment of high blood pressure in children and adolescents. *Pediatrics* 2004;114(2 Suppl 4th Report):555-76.
- 8) Korea Center for Disease Control and Prevention, The Korean Pediatric Society, The Committee for the Development of Growth Standard for Korean Children and Adolescents. 2007 Korean Children and Adolescents Growth Standard (commentary for the development of 2007 growth charts). [Government report online]. Seoul: Division of Chronic Disease Surveillance; 2007 Nov. Available from: URL://www.cdc.go.kr/webcdc/
- 9) Flegal KM. Curve smoothing and transformations in the development of growth curves. *Am J Clin Nutr* 1999;70:163S-5S.
- 10) Dietitians of Canada; Canadian Paediatric Society; College of Family Physicians of Canada; Community Health Nurses Association of Canada. The use of growth charts for assessing and monitoring growth in Canadian infants and children. *Can J Diet Pract Res* 2004;65:22-32.
- 11) de Onis M, Garza C, Victora CG, Onyango AW, Frongillo EA, Martines J. The WHO Multicentre Growth Reference Study: planning, study design, and methodology. *Food Nutr Bull* 2004;25(Suppl. 1):15S-26S.