

골연령 검사를 시행한 환자들의 임상적 특성과 골연령 측정 방법 간의 상관성에 대한 후향적 연구

최지우^{1,2} · 민상연^{1,3} · 김은진^{2,*}

¹동국대학교 한의과대학 소아과교실, ²동국대학교 분당한방병원 한방소아과, ³동국대학교 일산한방병원 한방소아과

Abstract

A Case Series on Clinical Characteristics of Patients Who Underwent Bone Age Test and Relationships between Methods of Bone Age Measurements

Choi Ji U^{1,2} · Min Sang Yeon^{1,3} · Kim Eun Jin^{2,*}

¹Department of Pediatrics, College of Korean Medicine, Dongguk University

²Department of Pediatrics of Korean Medicine, Korean Medicine Hospital, Dongguk University Bundang Medical Center

³Department of Pediatrics of Korean Medicine, Korean Medicine Hospital, Dongguk University Ilsan Medical Center

Objectives

The purpose of this study is to analyze the characteristic of the 157 pediatric patients who visited a Korean medical hospital for bone age (BA) measurement and to compare the BA measurement using Tanner-Whitehouse 3-based analysis software and specialists in pediatric Korean medicine to determine the relationships.

Methods

The study included 157 pediatric patients who visited a Korean medicine hospital for BA measurements from June 2021 to June 2023. They were analyzed to determine the characteristics and agreement of BA measurements using Tanner-Whitehouse 3-based analysis software and specialists using classification by age, intraclass correlation coefficient (ICC), and Bland-Altman plots.

Results

In total, 61.8% of the study population were boys and 38.2%, girls, with an average age of 11.32 ± 1.87 . The types of growth were various, and the average of bone maturity was 0.48 ± 1.13 as concluded by analysis software and 0.38 ± 1.15 as concluded by the specialists. The ICC of two methods were excellent: 0.995 (overall), 0.996 (boys) and 0.994 (girls). However, BA determined by analysis software tended to be higher than that determined by specialists when the patients were young.

Conclusions

This study showed that patients visited the hospital for BA measurement regardless of their height, and the agreement of BA between the two methods can be used as a reference. However, there was differences in the trends between age and sex, which should be interpreted with caution.

Key words: Growth, Bone age, TW3, Prediction of adult height

• Received: August 01, 2023 • Revised: August 18, 2023 • Accepted: August 23, 2023

*Corresponding Author: Kim Eun Jin

Department of Korean Pediatrics, Dongguk University Bundang Korean Hospital, 268, Buljeong-ro, Bun-dang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13601, Republic of Korea.

Tel: +82-31-710-3724 / Fax: +82-31-710-3780

E-mail: utopialimpid@naver.com

© The Association of Pediatrics of Korean Medicine. All rights reserved. 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/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. Introduction

성장 (growth)이란 양 (量)적으로 키, 체중, 장기의 무게 등이 증가해나가는 과정을 말하는데, 정상적으로 성장하는 소아의 경우에는 유전적으로 정해진 백분위수 곡선을 따라 자라며, 2세경의 키에는 부모의 평균 키 수준이 반영된다¹⁾. 이러한 성장을 조절하는 인자로는 유전, 영양 및 일반건강, 성장호르몬과 인슐린양성장인자를 포함한 기타 호르몬 등이 해당한다²⁾.

2022년 한방의료실태조사에 따르면 자녀 한방의료 이용 목적으로 성장클리닉이 27.6%의 수치를 보였는데 이는 질환치료 43.0%, 건강증진 40.5%에 뒤이어 3번째로 높게 나타났다³⁾. 또한, 한국보건의료연구원서 진행한 2022년도 국민참여단 53명을 대상으로 한 설문조사 결과 30.2%가 응답자 본인 또는 응답자의 자녀가 골연령 (Bone age, BA) 검사를 받은 경험이 있었으며, BA 검사를 받게 된 계기는 성장상태확인이 93.8%, 조기성숙 진단이 6.3%를 차지하였다⁴⁾.

성장의 평가는 신장, 체중 등의 신체계측과 성장속도 및 부모의 신장, 사춘기 발달 등을 모두 포함하는데, 소아의 신장과 사춘기 발달은 역연령 (Chronological age, CA)보다는 골의 성숙도와 연관되어 있어 BA 검사는 저신장을 판단하는 데 있어 유용한 일차적 검사이다⁵⁾. BA 측정 방법으로는 Greulich-Pyle (GP)와 Tanner-Whitehouse (TW3)가 대표적이다. GP 방법은 좌측 수근골의 사진을 연령별로 제시한 도감과 대조하여 BA를 측정하는 방식이며, TW3는 좌측 요골, 척골, 중수골 (제1, 3, 5지), 기절골 (제1, 3, 5지), 중절골 (제3, 5지), 말절골 (제1, 3, 5지) 총 13개 부위를 도감과 비교하여 뼈 성숙도에 따른 등급을 매겨 각각의 점수를 합산한 Radius, ulna, and short bone age (RUS) score을 통해 측정한다⁶⁾. 이 중 TW3가 실제로 임상에서 시행했을 때의 오차범위가 GP보다 낮아, 재현성이 더욱 뛰어난 방법으로 알려져 있다⁷⁾. GP 및 TW3 방식을 기반으로 인공지능 프로그램을 통한 BA 검사는 편의성 및 검사 시간의 단축으로 인하여 최근 보편화되고 있으나, 실제 의료진이 측정한 결과와의 상관성을 기반으로 한 해석 방향에 대하여는 언급된 바가 적다.

이에 저자는 BA 검사를 목적으로 동국대학교 부속 한방병원에 내원한 환자 157명을 대상으로 후향적 연구를 통해 환자의 성별, 연령과 신장, BA, 키연령 (Height age, HA), 성인 예측키 (Adult height prediction,

AHP), 중간 부모키 (Mid-parental height, MPH), 초경 여부를 분석하였다. 또한, TW3를 기반으로 한 인공지능 프로그램에 의해 측정된 BA (Artificial intelligence bone age, AIBA)와 의료진에 의해 측정된 BA (Reference bone age, RBA)의 일치도를 분석하여 보고하는 바이다.

II. Material and Methods

1. 대상

2021년 6월부터 2023년 6월까지 동국대학교 부속 한방병원 한방소아과에 내원하여 BA 검사를 시행한 환자 중 인공지능 프로그램을 통하여 분석이 가능한 만 7세 이상 만 15세 미만 환아를 대상으로 후향적 연구를 시행하였다. 잠재적 비뚤림을 방지하기 위하여 대상자는 해당 기간 내 연속적으로 선택되었다. 검사와 동일한 일자에 작성된 기록에 따라 환자의 성별, 연령과 신장, BA, HA, AHP, MPH, 초경 여부를 확인하였으며, 이 중 하나의 자료라도 누락된 경우는 배제하였다. 2회 이상 결과가 있는 경우 CA가 올라갈수록 AHP 신뢰구간의 폭이 좁아지는 것을 고려하여⁸⁾ 마지막 검사 결과를 데이터로 사용함으로써 중복된 데이터 5례를 제외하고 총 157명 (남아 97명, 여아 60명)을 대상으로 본 연구를 시행하였다 (Figure 1).

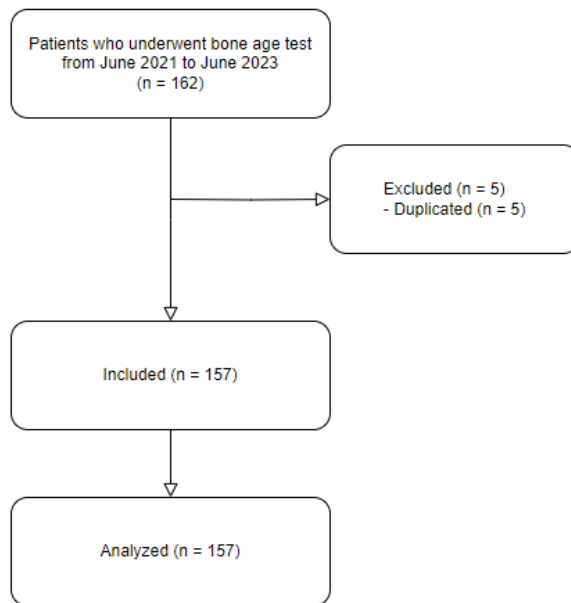


Figure 1. Patients included or excluded from the study

2. 방법

157명 대상 환자의 의무기록지와 방사선 결과를 바탕으로 다음과 같이 분류하여 조사 및 분석하였다.

1) 신장 및 체중 측정 및 계산

신장 및 체중은 내원 당시 자동신장체중계 (DS-102, JENIX, Korea)로 측정되었고, MPH는 보호자로부터 얻은 부모의 키 정보를 통하여 남아의 경우 ((아버지 키) + (어머니 키) + 13) / 2 (cm), 여아의 경우 ((아버지 키) + (어머니 키) - 13) / 2 (cm)로 계산하였다.

2) BA 및 AHP 측정

AIBA 및 AHP는 내원 당시 본원 방사선사에 의해 진단용 엑스선 장비 (ACCURAAAY 630R, 디케이메디칼 시스템)로 촬영된 환자의 [Wrist AP, Lt] 영상을 바탕으로 하여 TW3 방법을 기반으로 한 인공지능 프로그램 (<https://www.boneage.io/>)에 영상과 환자의 신장, 체중, 연령, 측정일, 부모의 신장, 초경 여부 등을 기록하여 회귀식을 통한 방법으로 산출되었다⁸⁾.

RBA는 한방소아과 성장 진료 10년 이상의 전문의 (Reviewer 1)와 한방소아과 전공의 (Reviewer 2)가 “골연령의 판정과 성인 신장의 예측 3판⁹⁾”을 기준으로 숙지 후 TW3 방법을 통하여 BA를 산출하였다. Reviewer 간 BA가 1.0년 이상의 오차가 발생한 경우 한방소아과 성장진료 20년 이상 전문의 (Reviewer 3)의 판독을 반영하여 최종적인 RBA를 산출하였다.

AHP - MPH를 성장지표로 현재 키의 성장이 유전적 성장에 맞게 진행되고 있는지 평가하였다. AHP - MPH가 ± 5 cm 범위 내는 정상범위로⁹⁾, 나머지는 +5 초과, -5 미만으로 구분하였다.

골성속도는 BA - CA를 지표로 하고, BA 측정 시 오차범위가 6개월에서 1년 정도이기 때문에, 골성속도가 ± 1 에 속하는 경우 정상범위의 성속으로 보았으며 초과할 +1 초과와 -1 미만을 구분하여 관찰하였다.

3) 환자 분류

환자를 성별로 분류하고 여아의 경우에는 초경 전 후에 따라서도 구분하였다. 신장 백분위수 및 체중 백분위수는 2017년 소아청소년 성장도표¹⁰⁾를 기준으로 하였다. AHP와 MPH의 차, 골성속도 및 CA, BA, HA 간의 관계를 분석하였고 BA의 일치도 비교에 있어 전체 환자 및 성별 기준으로 나누어 성별에 따른 일치도

의 차이를 비교하였다.

4) 통계 처리

SPSS 20.0 for windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 자료를 분석하였다. 평균치는 Mean \pm Standard deviation (SD)로 표시하였고, 성별 간 평균 비교는 독립 표본 t-검정을 시행하였다. AIBA와 RBA 간의 일치도 파악을 위하여 정규성 검사를 시행한 후 전체 환자 및 성별 기준으로 분류하여 Intraclass correlation coefficient (ICC)를 시행하였으며 두 종류의 측정 방법을 비교하는 통계학적 검사 방법으로 두 방법 사이에 차이 혹은 비율을 평균값을 중심으로 표시하는 Bland-Altman plot을 통하여 도식화하였다. 모든 통계치는 p -value 0.05 미만일 때 유의성이 있다고 판정하였다.

5) 윤리적 문제

본 연구는 의무기록을 이용한 후향적 연구로 동국대학교 부속한방병원 임상시험심사위원회에서 심의를 승인받았으며, 동의 면제를 받았다 (IRB No. DUBOH 2023-0007).

III. Result

1. 인구학적 분석

1) 성별 분석

전체 환자 157명 중 남자는 97명으로 61.8%, 여아는 60명으로 38.2%의 비율을 보였다. 여자 환자 중 초경 전 여아는 44명으로 전체 환자의 28.0%, 여자 환자의 73.3%, 초경 후 여아는 16명으로 전체 환자의 10.2%, 여자 환자의 26.7%를 차지하였다.

2) 연령 분석

BA 검사를 시행한 만 7세 이상 만 15세 미만의 환자 157명을 대상으로 연령 분석을 시행한 결과, 평균 연령은 11.32 ± 1.87 세였다. 남아와 여아를 구분하여 연령을 분석한 결과, 남아 97명의 평균은 11.63 ± 1.81 , 여아 60명의 평균은 10.82 ± 1.87 세였으며, 초경 후 여아 16명의 평균은 13.05 ± 0.94 세였다. 성별 간 연령의 차이는 통계적으로 유의하였다 ($t = 2.661, p = 0.009$) (Table 1).

2. 신체 계측치 분석

1) 신장 백분위수 분석

환자 157명을 대상으로 BA 검사 당시 CA와 신장을 통하여 2017년 소아청소년 성장도표 해설집¹⁰⁾을 기준으로 신장 백분위수를 분석한 결과, 백분위수의 경우 최솟값 3, 최댓값 99.3에 해당하였으며, 평균 백분위수는 55.13 ± 27.41 이었다. 남아 97명의 평균은 59.71 ± 27.95 백분위수, 여아 60명의 평균은 47.05 ± 25.07 이었으며, 성별 간 신장 백분위수의 차이는 통계적으로 유의하였다 ($t = 2.943$, $p = 0.004$) (Table 1).

2) 체중 백분위수 분석

환자 157명을 대상으로 BA 검사 당시 CA와 체중을 통하여 2017년 소아청소년 성장도표 해설집¹⁰⁾을 기준으로 체중 백분위수를 분석한 결과, 백분위수의 경우 최솟값 0.3, 최댓값 99.1에 해당하였으며, 평균 백분위수는 54.20 ± 26.37 이었다. 남아 97명의 평균은 59.94 ± 26.72 백분위수, 여아 60명의 평균은 45.38 ± 23.0 이었으며, 성별 간 체중 백분위수의 차이는 통계적으로 유의하였다 ($t = 3.622$, $p = 0.000$) (Table 1).

3) MPH 분석

환자 157명을 대상으로 MPH를 분석한 결과, 남아 97명의 평균은 173.85 ± 4.05 cm, 여아 60명의 평균은 160.92 ± 3.58 cm이었다 (Table 1).

4) AHP와 MPH의 차 분석

AHP와 MPH의 차를 분석한 결과, 전체 환자의 평균은 1.93 ± 4.97 cm이었으며, 최솟값은 -13.17 cm, 최댓값은 17.62 cm이었다. 범위에 따라 -5 미만인 경우는 전체 환자 중 12명 (7.64%), -5 이상 +5 이하는 103명 (65.61%), +5 초과인 경우는 42명 (26.75%)이었다. 성별 별로 나누어 분석한 결과, 남아의 평균은 3.06 ± 5.12 cm이었으며, 최솟값은 -9.63 cm, 최댓값은 17.62 cm이었다. 범위에 따라 -5 미만인 경우는 남아 중 6명 (6.19%), -5 이상 +5 이하는 56명 (57.73%), +5 초과인 경우는 35명 (36.08%)이었다. 여아의 평균은 0.09 ± 4.12 cm이었으며, 최솟값은 -13.17 cm, 최댓값은 10.53 cm이었다. 범위에 따라 -5 미만인 경우는 여아 중 6명 (10.0%), -5 이상 +5 이하는 47명 (78.33%), +5 초과인 경우는 7명 (11.67%)이었다. AHP - MPH의 성별 간 차이는 통계적으로 유의하였다 ($t = 3.997$, $p = 0.000$) (Table 1).

5) CA, BA, HA의 관계 분석

환자 157명을 대상으로 CA, BA, HA의 관계를 분석하였다. 'BA > HA > CA' 관계를 보이는 환자가 44명 (28.03%)으로 가장 많았고, 'BA > CA > HA'의 관계를 보이는 환자가 29명 (18.47%), 'HA > BA > CA'가 25명 (15.92%), 'CA > HA > BA'가 18명 (11.46%), 'CA > BA > HA'가 17명 (10.83%), HA > CA > BA가 10명 (6.37%), 'BA = CA > HA', 'BA = HA > CA'가 4명 (2.55%), 'BA > CA = HA'가 2명 (1.27%), 'HA > BA = CA'가 2명 (1.27%), 'CA > BA = HA', 'CA = HA > BA'가 각 1명 (0.64%)으로 다양한 분포를 보였다.

6) 골성속도 분석

AIBA를 기준으로 한 전체 환자의 평균 골성속도는 0.48 ± 1.13 , 남아의 경우 0.50 ± 1.23 , 여아의 경우 0.45 ± 0.93 이었으며, 전체 환자 중 -1 미만인 경우가 14명 (8.92%), 남아 9명 (5.73%), 여아 5명 (3.18%)이었고, +1 초과인 경우가 58명 (36.94%), 남아 38명 (24.2%), 여아 20명 (12.74%)이었다. 성별 간 AIBA를 기준으로 한 골성속도의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다 ($t = 0.240$, $p = 0.811$). RBA를 기준으로 한 전체 환자의 평균 골성속도는 0.38 ± 1.15 , 남아 0.40 ± 1.27 , 여아 0.36 ± 0.96 이었으며, 전체 환자 중 -1 미만인 경우가 18명 (11.46%), 남아 13명 (8.28%), 여아 5명 (3.18%)이었고, +1 초과인 경우가 50명 (31.85%), 남아 34명 (21.66%), 여아 16명 (10.19%)이었다. 성별 간 RBA를 기준으로 한 골성속도의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다 ($t = 0.194$, $p = 0.847$) (Table 1).

3. AIBA와 RBA의 일치도 분석

1) 연령에 따른 AIBA와 RBA 분석

평균 BA는 전체 환자에서 11.80 ± 2.44 (AIBA), 11.70 ± 2.54 (RBA)이었으며, 남아가 12.12 ± 2.53 (AIBA), 12.02 ± 2.60 (RBA), 여아가 11.28 ± 2.23 (AIBA), 11.18 ± 2.35 (RBA)으로 전체적으로 AIBA 값이 높았다. 연령별로 분석한 결과 남아의 경우 7세~10세까지 AIBA 값이 높은 경향을 보이다, 11세 이후 평균값의 차는 0.1 이내로 유사한 값을 보였다. 여아의 경우에는 7세~9세까지는 AIBA 값이 높은 경향을 보이다, 10세 이후로 평균값의 차는 0.1 이내이나 남아와 달리 RBA 값이 더 높은 경향을 보였다 (Table 2).

Table 1. General Characteristics of the Subjects

	Boys	Girls	Total
Number	97	60	157
Age (years)	11.63 ± 1.81	10.82 ± 1.87	11.32 ± 1.87
Height (percentile)	59.71 ± 27.95	47.05 ± 25.07	55.13 ± 27.41
Weight (percentile)	59.94 ± 26.72	45.38 ± 23.0	54.20 ± 26.37
MPH (cm)	173.85 ± 4.05	160.92 ± 3.58	-
AHP - MPH (cm)	3.06 ± 5.12	0.09 ± 4.12	1.93 ± 4.97
AIBA - CA (years)	0.50 ± 1.23	0.45 ± 0.93	0.48 ± 1.13
RBA - CA (years)	0.40 ± 1.27	0.36 ± 0.96	0.38 ± 1.15

MPH: Mid-parental height, AHP: Adult height prediction, AIBA: Artificial intelligence bone age, RBA: Reference bone age, CA: Chronological age

Table 2. Bone Age according to Age in the Subjects

Age	Boys				Girls				Total	
	N	Bone age (years)		N	Bone age (years)		N	Bone age (years)		
		AI	Reference		AI	Reference		AI	Reference	
7	5	6.90 ± 1.02	6.46 ± 1.12	3	8.67 ± 0.67	8.28 ± 0.53	8	7.56 ± 1.25	7.14 ± 1.30	
8	3	9.34 ± 1.71	9.06 ± 1.64	8	8.41 ± 0.90	8.07 ± 0.87	11	8.66 ± 1.16	8.34 ± 1.13	
9	6	9.45 ± 0.32	9.08 ± 0.43	13	9.78 ± 0.92	9.51 ± 0.90	19	9.68 ± 0.79	9.38 ± 0.80	
10	21	10.71 ± 1.37	10.60 ± 1.40	9	11.28 ± 1.13	11.31 ± 0.92	30	10.88 ± 1.31	10.81 ± 1.30	
11	22	11.51 ± 1.11	11.50 ± 1.16	10	11.69 ± 0.78	11.76 ± 0.88	32	11.56 ± 1.01	11.58 ± 1.07	
12	14	13.52 ± 1.21	13.52 ± 1.23	8	13.45 ± 0.91	13.51 ± 0.92	22	13.49 ± 1.09	13.52 ± 1.11	
13	16	14.62 ± 1.08	14.54 ± 1.03	6	14.19 ± 1.12	14.25 ± 0.94	22	14.51 ± 1.08	14.46 ± 0.99	
14	10	15.55 ± 0.71	15.49 ± 0.48	3	14.97 ± 0.89	14.99 ± 0.88	13	15.42 ± 0.76	15.37 ± 0.59	
Total	97	12.12 ± 2.53	12.02 ± 2.60	60	11.28 ± 2.23	11.18 ± 2.35	157	11.80 ± 2.44	11.70 ± 2.54	

AI: Artificial intelligence

Table 3. Intraclass Correlation Coefficient of Artificial Intelligence Bone Age (AIBA) and Reference Bone Age (RBA)

	ICC (2,1)	95% CI	P
Total	.995	.993-.997	.000
Boys	.996	.993-.997	.000
Girls	.994	.990-.996	.000

ICC: Intraclass correlation coefficient, CI: Confidence interval

2) ICC⁽¹¹⁻¹³⁾

ICC 결과값은 전체 환자 대상 0.995, 남아 0.996, 여아 0.994로 매우 높은 일치도를 나타내었으며, 남아가 여아와 비교하여 일치도가 소폭 높은 경향을 보였다 (Table 3).

3) Bland-Altman plot⁽¹¹⁻¹⁴⁾

Bland-Altman plot으로 도식화한 결과, AIBA와 RBA의 차이의 평균값 (X축)은 전체 환자에서 0.1, 95% 신뢰구간은 - 0.56 ~ 0.75이었으며, 남아의 경우 0.1, 신뢰

구간은 - 0.54 ~ 0.74, 여아의 경우 0.09, 신뢰구간은 - 0.59 ~ 0.77이었다. 두 측정값 간의 차 (Y축)를 평균하여 수평으로 선을 그리고 이를 중심으로 ± 1.96의 표준편차에 해당하는 구역 이외에 위치하는 값은 임상적으로 중요한 의미를 가지지 않는 것으로 간주⁽¹²⁾하는데, 대부분의 값이 신뢰구간 안에 위치하였다 (Figure 2).

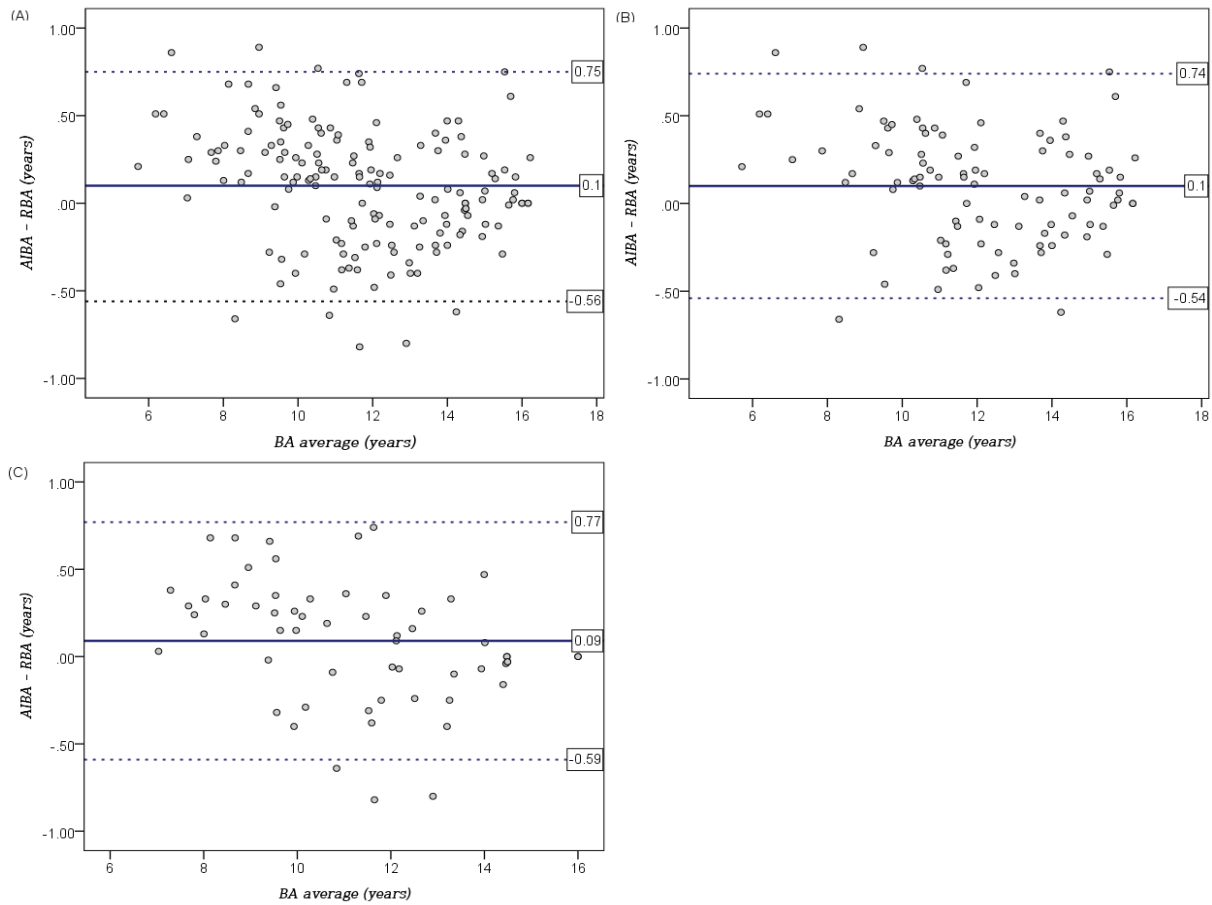


Figure 2. Bland–Altman plot of artificial intelligence bone age and reference bone age

(A) Total (B) Boys (C) Girls

AIBA: Artificial intelligence bone age, RBA: Reference bone age, BA: Bone age

IV. Discussion

성장이란 소아기의 주된 특징 중 하나이며, 건강상태를 반영하고, 신체적인 측면 뿐만 아니라 정신적, 사회적 건강상태와도 관련이 있으며, 발달과도 상호 영향을 준다⁷⁾.

영아기 이후의 소아에서는 체중보다는 키의 성장이 더 중요하게 되며, 2~3세부터 사춘기 전까지는 연간 5~6 cm 정도의 속도로 남녀간의 정도 차이 없이 서서히 성장하다가 사춘기가 시작된 후 성장급증이 뚜렷하게 나타난다²⁾. 남아가 여아보다 2년 정도 늦게 사춘기가 시작하며 남이는 사춘기동안 평균 25~30 cm, 여아는 20~25 cm 자라며 결과적으로 최종 성인키는 12.5 cm 내외의 차이를 보이게 된다³⁾.

성장장애는 일반적으로 키가 잘 자라지 않는 경우를 말하며, 키가 같은 연령, 성별의 평균보다 2 표준편

차 이상으로 작거나, 3 백분위수 미만인 경우, 연간 성장속도가 25 백분위수 미만인 경우 성장장애를 의심할 수 있다. 성장 진료를 위하여 내원하는 대부분의 소아는 정상변이의 저신장이며, 이 경우 성장장애 질환의 원인 중 특발성 저신장 (idiopathic short stature)으로 분류한다⁵⁾. 소아가 의료기관을 방문하여 성장과 발달에 대한 검사를 하는 것은 성장장애를 일찍 발견하여 시기를 놓치지 않고 적절한 조치를 받는 데 목적이 있으며, 실제 임상 진료에 있어서 중요하게 평가되는 요소들은 병력조사, 성장 계측치, MPH, BA 등이 있다²⁾. 이 중 BA 검사가 대표적인데, 방사선 검사를 시행하나 노출되는 방사선의 유효선량 (effective dose)는 0.0001~0.1 mSV로 20분동안 자연방사선에서 나오는 양보다 적어 안전성 있는 검사로 판단된다¹⁶⁾.

BA 측정 방법으로는 GP와 TW3가 대표적이거나 두 측정법의 결과값의 차이에 대한 점은 연구에 따라 다르게 나타나고 있다. 김 등⁶⁾의 연구에서는 한국 소아에

서 GP 방법에 비하여 TW3 방법에 의한 BA가 어리게 측정되었으나 2개월 정도로 큰 차이는 없었으며, 또 다른 연구¹⁷⁾에서도, GP, TW3, Korean standard bone age chart (KS) 방법으로 BA 검사를 수행하여 방법 간 신뢰도를 파악했을 때, 검사 방법 간 유의한 차이가 없었다.

한의학에서는, 성장장애를 비허(脾虛), 신허(腎虛), 비신양허(脾腎兩虛), 간신음허(肝腎陰虛) 등의 변증 유형으로 분류하고, 한약치료, 침치료, 뜸치료, 근건이완수기요법 등을 통해 접근하여 치료한다¹⁸⁾. 특히 전반적인 건강에 대한 증진 및 성장호르몬 치료에 비해서 접근성이 용이하다는 점에서 성장장애에 대한 한의치료는 긍정적으로 생각되고 있다¹⁹⁾. 또한, 한의학적 인 중재가 소아의 성장에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 다양한 연구 결과가 보고되고 있다²⁰⁻²²⁾.

이에 본 연구에서는 BA 검사를 목적으로 한방병원에 내원한 환아에 대한 임상적 특성을 파악하고, TW3를 기반으로 한 AIBA와 RBA의 일치도에 대하여 분석하여 두 측정 방법 간의 상관성 및 해석 방향에 대하여 알아보려고 동국대학교 부속 한방병원 한방소아과 외래에 내원한 환자 중, BA 검사를 받은 환아 157명을 대상으로 연구를 진행하였다.

인구학적으로 성별, 연령에 대하여 분석하였는데, 157명의 환아의 성별을 분석한 결과, 남자는 97명으로 61.8%, 여자는 60명으로 38.2%로 남자의 비율이 더 높았다. 또한 초경 전 여아의 경우가 초경 후보다 비율이 높았는데, 이는 성장 시기에 대한 관심이 점차 빨라지는 것으로 해석된다.

환아의 연령의 경우 전체 평균 연령은 11.32 ± 1.87 세였으며, 남아 97명의 평균은 11.63 ± 1.81 세, 여아 60명의 평균은 10.82 ± 1.87 세였으며, 초경 후 여아 16명의 평균은 13.05 ± 0.94 세였다. 일반적인 급성장기는 남아의 경우 12.5세에서 15세 (평균 14세), 여아의 경우 10세에서 13세 (평균 12세)에 나타나므로⁷⁾, 급성장기 시기에 이르기 직전에 BA 검사를 진행하는 경우가 많은 것으로 보인다.

신체 계측치에 관하여 신장 및 체중 백분위수, MPH, AHP - MPH, CA, BA, HA의 관계, 골성속도에 대하여 분석한 결과 신장 및 체중 백분위수 모두 다양하게 분포하였다. 저신장인 환아들 뿐 아니라 평균 이상의 신장에 해당하는 환아들 또한 BA 검사를 흔하게 접하고 있는 것으로 보이며, 이는 전반적인 성장에 대한 관심 증가로 인한 것으로 해석된다.

MPH의 경우 남아 97명의 평균은 173.85 ± 4.05 cm,

여아 60명의 평균은 160.92 ± 3.58 cm이었다. 이는 2007년 소아청소년 성장도표의 20대 평균키인 남성 173.35 cm, 여성 160.74 cm에 근접한 결과를 보였다²³⁾.

AHP와 MPH의 차를 분석한 결과, 전체 환아의 평균은 1.93 ± 4.97 cm, 남자는 3.06 ± 5.12 cm, 여아는 0.09 ± 4.12 cm로 남아의 신장이 여아에 비하여 환경적인 요인을 더 크게 받는다는 결과와 일치하였다²⁴⁾. 또한 남아와 여아 모두 - 5 이상 + 5 이하, + 5 초과인 경우 순으로 많았으며, - 5 미만인 경우가 가장 적었다. 이는 남아와 여아 모두 유전적인 요인에 더해 영양, 운동, 조기 성장 관련 치료 등이 성장량을 증가시키는 방향으로 진행되고 있기 때문으로 생각된다.

CA, BA, HA의 관계를 분석한 결과, 'BA > HA > CA' 관계를 보이는 환아가 44명 (28.03%)으로 가장 많았으며 다양한 분포를 보였다. 저신장으로 병원을 찾는 가장 많은 원인은 가족성 저신장과 체질성 성장 지연으로 알려져 있으나⁷⁾, 본 연구에서는 가족성 저신장 (BA = CA > HA)의 성장 패턴을 보이는 환아가 4명, 체질성 성장지연 (CA > BA = HA) 1명으로 높은 비율을 차지하지 않았으며, 해당 환아들의 키가 3 백분위수 이상이므로 저신장의 기준에 해당하지 않았다. 또한, 고신장의 성장 패턴인 'HA > BA = CA', 'HA = BA > CA', 'BA > HA > CA', 'HA > BA > CA', 'BA = HA > CA'의 환아의 비율이 더 높았다는 점에서 최근 BA 검사를 시행하는 목적이 검사 시점의 저신장이 아닌 이후 성장에 대한 예측이 더 큰 것으로 해석된다²⁵⁾.

골성속도를 분석한 결과, AIBA와 RBA 모두 평균적으로 6개월 이내로 골성속도가 연령보다 진행된 모습을 보였다. 또한 전체 환아 중 - 1 미만보다 + 1 초과에 해당하는 경우가 더 많았다. 소아의 골 성숙은 유전적인 요인 뿐 아니라 영양상태, 질환 등을 포함한 환경요인의 영향을 받아 각 인구집단과 세대에 따라 차이가 발생하여 TW3 방법에 의한 BA가 한국의 소아청소년에게 완벽히 일치한다고 보기에는 어려움이 있어 해석에 주의가 필요하다. 아시아 인구집단인 1996년 일본 어린이를 대상으로 TW3 방법을 이용해 골성숙 패턴을 알아본 결과 남아와 여아 모두 12세 이후에 BA가 기존 TW3 기준 연령보다 6개월 가량 앞서는 모습을 보였는데, 이는 본 연구 결과와 일치하였다²⁵⁾.

BA에 대한 일치도를 분석한 결과, BA assessment system에 대한 기존 연구에서 AIBA와 RBA의 0.6년 이내의 차이는 동등한 것으로 판단하였는데²⁶⁾, 본 연구 결과에서 AIBA와 RBA의 값에 0.1 정도의 차이가 발생

하는 것은 약 1~2개월의 차이로 두 결과값의 일치도는 매우 높았다. 다만, 경향성에 차이를 보였는데, 남녀 모두 연령이 어릴 때에는 AIBA가 높은 경향을 보이다 남아의 경우 11세 이후에 유사하거나 AIBA가 더 높았고, 여아의 경우 10세 이후로 RBA가 더 높은 경향을 보였다. Bland-Altman plot에서 전체 환아를 대상으로 도식화한 결과 또한 연령이 어린 환아일수록 RBA가 AIBA에 비하여 어리게 평가되는 경향이 있었으며, 연령이 높아질수록 높게 평가하는 경향이 있었다. TW3 방법으로 측정된 BA는 사춘기 이전에는 비교적 정확한 것에 비하여 사춘기가 진행되는 동안에는 정확히 평가하기가 어렵다는 단점이 있다. 그 이유는 해당 시기에 신체적으로는 급성장이 이루어지나 손과 손목 방사선 상에서는 사춘기 시작 시 종자골이 나타나는 것과 같은 명확한 변화가 없기 때문이다^{27,28)}. 또한, 성별에 따라 RUS score 1000점에 해당하는 BA가 남아의 경우 16.5세, 여아의 경우 15.0세로 차이가 있으며, 각 단계별 뼈의 RUS score 또한 여아가 남아보다 해당되는 점수가 크다. 따라서, 본 연구에서 여아의 연령이 높아질수록 RBA가 높은 값을 보이게 되는 이유 중 하나로 이 시기 모호한 골성숙의 단계로 인하여 BA의 정확한 평가가 어려운 점과 여아에서 성숙도에 따른 등급 간 RUS score의 급격한 증가로 인하여 차이가 더 크게 나타나는 것으로 보인다. 기존 연구에서도 TW3를 기반으로 하여 AIBA와 RBA의 차이를 성별 간 비교한 결과, 남아의 경우 0.19 ± 0.62 , 여아의 경우 -0.04 ± 0.65 로 RBA 값이 여아에서 더 높게 평가되었다²⁶⁾.

마지막으로, AIBA와 RBA의 일치도 파악을 위하여 ICC 분석을 시행하였는데, 전체 환아에서의 ICC는 0.995이었으며, 남아에서는 0.996, 여아에서는 0.994로 계산되었으며, 모두 유의하였다. ICC의 결과값은 두 측정값이 정확하게 일치한다면 ICC가 1이 되며, 일반적으로 ICC 0.40 이하는 매우 낮은 신뢰도 (poor), 0.40~0.59 사이는 낮은 신뢰도 (fair), 0.60~0.74 사이는 높은 신뢰도 (good), 0.75~1.00 사이는 매우 높은 신뢰도 (excellent)로 간주된다¹⁾. TW3 방식으로 측정된 AIBA와 RBA 간의 일치도가 높아 인공지능 프로그램의 신뢰도가 높은 것으로 밝혀졌다.

본 연구는 BA 검사를 위하여 한방병원에 내원한 환아들의 인구학적인 특징과 신체 계측치에 대하여 분석함으로써 소아 진료에 있어 최근 경향성을 파악하는 자료로 쓰일 수 있다는 점에 의의가 있다. 또한, AIBA와 RBA의 일치도가 매우 높아 실제 임상에서 인공

지능 프로그램의 사용에 대하여 긍정적인 결과를 얻었으나, BA 값을 남아 11세, 여아 10세 경 급성장기 이전까지는 검사자가 낮게 측정하고 이후에는 남아의 경우 검사자가 같거나 낮게, 여아의 경우 높게 측정하는 경향이 있었다. 해당 시기는 골성숙이 본격적으로 시작되는 시기로 성숙도에 따른 등급을 매기는 것에 어려움이 있어 BA 측정 시 이러한 경향성을 반영하여 객관적인 평가가 필요할 것으로 보인다.

또한 사춘기 전후의 손과 손목 방사선 사진에서 명백한 변화가 없어 BA의 정확한 평가가 어렵기 때문에^{27,28)}, 본 연구에서 급성장기 이전, 급성장기, 급성장기 이후의 그룹으로 나누어 AIBA와 RBA의 일치도를 분석하고자 하였으나, 그룹 별 대상자수의 차이 및 정규성 분포를 만족하지 못하여 시행하지 못하였다. 향후 이러한 점을 보완하여 대규모의 연구를 진행하여 시기 별 AIBA와 RBA 간의 일치도를 분석한다면 특정 연령대에서 검사 결과의 해석 방향에 도움이 되리라 사료된다.

V. Conclusion

2021년 6월부터 2023년 6월까지 동국대학교 부속 한방병원 한방소아과에 내원하여 BA 검사를 시행한 만 7세 이상 만 15세 미만 환아를 대상으로 후향적 연구를 시행하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1. BA 검사를 위해 한방병원에 내원한 환아들의 인구학적인 특징과 신체 계측치에 대하여 분석한 결과, 성장에 대한 전반적인 관심의 증가로 저신장의 기준에 해당하지 않아도 BA 검사를 진행하는 경향이 있으며, AHP가 MPH에 비하여 증가하고 있는 것을 확인하였다. 또한, 골성숙도도 전체적으로 6개월가량 앞선 결과를 보여 소아 청소년의 성장 속도가 빨라지고 있는 것으로 보였는데, 이러한 결과는 소아 진료에 있어 최근 경향성을 파악하는 자료로 쓰일 수 있다.
2. AIBA와 RBA의 일치도를 연령별 분류, ICC, Bland-Altman plot을 통하여 분석한 결과 두 방법 간의 일치도가 높은 것으로 밝혀졌다. 그러나, AIBA에 비해 RBA가 남아 11세, 여아 9세 이전

까지는 낮게 측정하고, 남아의 경우 12세 이상에서는 같거나 낮게, 여아의 경우 9세 이상에서는 높게 측정하는 경향이 있어 실제 BA 측정 시에 이러한 경향성을 참고할 수 있다.

3. 보다 정확한 BA의 측정이 필요한 급성장 시기의 AIBA와 RBA의 일치도를 분석을 위해서는 향후 더 대규모의 연구가 필요하다.

VI. References

1. Ahn HS, Shin HY. *Hong Changui Pediatrics* 11th ed. Seoul: Mirae N. 2016;10-13.
2. Sung IK. Monitoring growth in childhood: practical clinical guide. *J Korean Med Assoc.* 2009;52:211-24.
3. Ministry of Health and Welfare. Korean medicine utilization and herbal medicine consumption survey [Internet]. National Institute of Korean Medicine Development; 2022 [Updated 2023; cited 2023 July 25]. Available from: https://nikom.or.kr/koms/board/view.do?menu_idx=19&manage_idx=142&board_idx=563685&group_depth=0&parent_idx=0&group_idx=0&rowCount=10&search_type=title%2Bcontent&search_text=&viewPage=1.
4. Han GH. Health technology reassessment-bone age assessment [Internet]. National evidence-based healthcare Collaborating Agency; 2023 [Updated 2023; cited 2023 July 25]. Available from: https://www.neca.re.kr/SKIN_DIR/doc.html?fn=380a8b7c-d22c-417f-9f46-c45bb4339c3c.pdf&rs=/upload/synap/202308/.
5. Lee KH. Growth assessment and diagnosis of growth disorders in childhood. *Clin Exp Pediatr.* 2003;46:1171-7.
6. Kim SY, Oh YJ, Shin JY, Rhie YJ, Lee KH. Comparison of the Greulich-Pyle and Tanner Whitehouse (TW3) methods in bone age assessment. *J Korean Soc Pediatr Endocrinol.* 2008;13;50-5.
7. Koo EJ, Kweon JH, Kim KB, Kim BNR, Kim JH, Min SY, Park EJ, Baek JH, Sung HK, Yu SA, Lee SH, Lee JH, Lee JY, Lee HL, Chang GT, Jung MJ, Jung AR, Jung HS, Cheon JH. *Hanbangsoacheong-sonyeonuihak.* 3rd ed. Seoul: Ui Sung Dang Publishing Co. 2020:809-17,966-67.
8. Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, Cameron N. *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3 method)* 3rd ed. Seoul: E PUBLIC. 2005:1-3,38-9.
9. Tanner JM, Goldstein H, Whitehouse RH. Standards for children's height at ages 2-9 years allowing for heights of parents. *Arch Dis Child.* 1970;45(244):755-62.
10. Korea Center for Disease Control and Prevention. The Korean pediatric society, the committee for the development of growth standard for Korean children and adolescents. 2017 Korean children and adolescents growth standard (commentary for the development of 2017 growth charts). Seoul: Division of Chronic Disease Surveillance. 2017:35-61.
11. Kong KA. Statistical Methods: Reliability assessment and method comparison. *Ewha Med J.* 2017;40(1):9-16.
12. Jin WJ, Yu TY, Jin YH, Lee JB. Visual analogue scale in acute pain measurement: its usefulness as a pain measurement tool in an emergency setting. *JKESM.* 2003; 14(1):61-5.
13. Kim KY. Statistical methods for accessing agreement between repeated measurements in dental research. *JKDA.* 2016;54(11):880-96.
14. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1(8476):307-10.
15. Korean Society of Pediatric Endocrinology. *Pediatric Endocrinology* 3th ed. Paju: Koonja. 2020:83-92.
16. Martin DD, Wit JM, Hochberg Z, Säwendahl L, van Rijn RR, Fricke O, Cameron N, Caliebe J, Hertel T, Kiepe D, Albertsson-Wikland K, Thodberg HH, Binder G, Ranke MB. The use of bone age in clinical practice-part1. *Horm Res Paediatr.* 2011;76(1):1-9.
17. Kim JR, Lee YS, Yu J. Assessment of bone age in prepubertal healthy Korean children: comparison among the Korean standard bone age chart, Greulich-Pyle method, and Tanner-Whitehouse method. *Korean J Radiol.* 2015;16(1):201-5.
18. Lee BR, Kwon CY, Jang SB. Analysis of pattern identification and related symptoms on idiopathic short stature-focusing on traditional Chinese medicine literature. *J Pediatr Korean Med.* 2021;35(1):1-17.

19. Lee HH, Shim SB, Lee HL. A survey on public perception of Korean medical treatment for the development of Korean medicine clinical practice guideline and critical pathway for growth disorders. *J Pediatr Korean Med.* 2022;36(1):65-77.
20. Kweon JH, Cho SW, Yu SA. Review of clinical researches for herbal medicine treatment in pediatric growth - focusing on recent national studies-. *J Pediatr Korean Med.* 2018;32(4):103-12.
21. Han YJ, Lee BR. Effect of Korean medicine treatment on children who visited Korean medicine hospital for growth: a case report using deep learning-based bone age program. *J Pediatr Korean Med.* 2023;37(2):1-11.
22. Ko MJ, Baek JH, Kim SY. The effect of herbal medicine to treat digestive system problem on the children's growth. *J Pediatr Korean Med.* 2013;27(4):50-6.
23. 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). Seoul: Division of Chronic Disease Surveillance. 2007:81-92.
24. Kim HJ, Lee SH, Chang GT. The study on relationships between predicted height and the measurements related to growth. *J Pediatr Korean Med.* 2014;28(1):43-51.
25. Ashizawa K, Asami T, Anzo M, Matsuo N, Matsuoka H, Murata M, Ohtsuki F, Satoh M, Tanaka T, Tatara H, Tsukagoshi K. Standard RUS skeletal maturation of Tokyo children. *Ann Hum Biol.* 1996;23(6):457-69.
26. Shin NY, Lee BD, Kang JH, Kim HR, Oh DH, Lee BI, Kim SH, Lee MS, Heo MS. Evaluation of the clinical efficacy of a TW3-based fully automated bone age assessment system using deep neural networks. *Imaging Sci Dent.* 2020 Sep;50(3):237-243.
27. Kim DH. Assessment of bone age during pubertal age. *J Korean Soc Pediatr Endocrinol.* 2011;16:135-8.
28. Diméglio A, Charles YP, Daures JP, Rosa V, Kabore B. Accuracy of the sauegrain method in determining skeletal age during puberty. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87:1689-96.