

Skeletal Age Assessment of SMI and MP3 Stages to Predict the Pubertal Growth Spurt

Yeonju Lee, Yonjoo Mah

Division of Pediatric Dentistry, Department of Dentistry, Ewha Womans University Mokdong Hospital

Abstract

This study aimed to assess the skeletal age of skeletal maturational indicator (SMI) and middle phalanx of the middle finger (MP3) stages and to predict the SMI and MP3 stages corresponding to pubertal growth spurt in boys and girls respectively.

The skeletal age was assessed from hand-wrist radiographs of 363 children (182 boys, 181 girls) aged 7 to 16 years by radiologists using the Korean standard bone age chart. Also, SMI and MP3 stages were evaluated from the radiographs. From these records, the mean skeletal age of SMI and MP3 stages was calculated.

The stages including pubertal growth spurt were SMI 4 - 5, MP3 FG - G stages in boys and SMI 3 - 4, MP3 F - FG stages in girls.

Key words : Skeletal age, Skeletal maturational indicator, Middle phalanx of the middle finger, Pubertal growth spurt

I. 서 론

성장 중인 부정교합 환자의 치료에 있어 적절한 치료 시기를 선택하고 장기적인 치료 계획을 수립하기 위해서는 개인의 성장 발육에 대한 정확한 평가가 중요하다[1-4]. 성장 발육 시기를 평가하기 위해 일반적으로 골의 석회화에 따른 형태 변화를 관찰하는 골 성숙도 평가를 이용하는데, 이 방법은 신체 크기와 무관하고 성장호르몬이나 갑상선 호르몬의 기능과 일치하며 생식기계 호르몬 영향을 충분히 반영할 수 있어 앞으로의 발육을 예견하는 데에 객관적 지표로 사용할 수 있다[5,6]. 수완부는 골 성숙도 평가에 이용되는 신체 여러 부위 중 가장 많이 이용되는 부위로서, 수완부 골은 출생부터 성숙의 종료 시까지 화골 현상이 진행되고 수완부의 구성 골은 각기 석회화의 개시기 및 정도, 양상이 다르므로 성숙도 평가에 유용하다[7,8]. 또한 방사선 촬영이

간편하고 판독이 용이하며 재현성이 우수하여 널리 사용되고 있다[9-11].

여러 문헌에서 수완부 골 성숙을 평가하는 다양한 방법들이 제시되었다. Tanner 등[12]은 7개의 수근골, 11개의 수절골, 요골과 척골 원위부의 총 20개의 골을 성숙 정도에 따라 각각 9등급으로 나눈 후 등급에 따른 점수를 합산하여 골연령을 산출하는 TW2-20 방법을 제시하였는데, 이 방법은 객관적이며 높은 신뢰도를 가지는 방법으로서 이를 토대로 1997년 한국 소아 청소년의 표준 골연령 도표가 제작되었다. 이 도표는 만 2개월부터 만 16세까지의 어린이를 만 1세 미만은 3개월 단위, 6세 미만은 6개월 단위, 그 이후는 1년 단위로 남녀 각각 27개의 군으로 나누어 각 군마다 20개 골의 점수 및 표준 수완부 방사선 사진을 제시하고 있으며 현재까지 국내 소아청소년과 및 영상의학과에서 소아 및 청소년의 골연령 판정을 위한 기준 자료로 가장 널리 사

Corresponding author : Yonjoo Mah

Division of Pediatric Dentistry, Department of Dentistry, Ewha Womans University Mokdong Hospital, 1071, Anyangcheon-ro, Yangcheon-gu, Seoul, 07985, Korea

Tel: +82-2-2650-2660 / Fax: +82-2-2650-5764 / E-mail: magic-lily@hanmail.net

Received October 16, 2018 / Revised December 5, 2018 / Accepted December 4, 2018

용되고 있다[13,14]. 그러나 이 방법을 익숙하게 사용하기 위해서는 상당 기간의 훈련이 필요하여 치과 임상에서 사용하기에는 다소 어려움이 있다.

이와 같은 이유로 치과 임상에서는 수완부 6개 부위의 골화 단계를 4가지 평가항목으로 평가하여 11단계로 분류하는 skeletal maturational indicator (SMI) 방법이 성장 발육의 평가를 위해 가장 보편적으로 이용되고 있다[15]. 또한 치근단 방사선 촬영을 통해 중지의 중절골 만을 관찰하여 골 성숙을 5단계로 평가하는 middle phalanx of the middle finger (MP3) 방법 역시 간단하고 방사선 피폭이 적다는 장점이 있어 소아청소년을 대상으로 활용되고 있다[16]. 1980년대에 발표된 사춘기 최대 성장기가 나타나는 SMI 단계에 대한 연구 결과를 살펴보면 남아에서는 SMI 6 - 7단계, 여아에서는 SMI 4 - 6 단계가 최대 성장기에 해당된다고 하였으며[15], 이 결과가 현재까지 gold standard로 통용되고 있다.

그러나 성장 발육의 양상은 인종과 세대에 따라 달라지는 경향이 있으며[15,17,18], 기존 자료는 30년이 지난 현재의 영양 상태 및 체질 변화에 따른 성장 속도와 발육 상태 변화 등의 현시성을 반영하지 못한다. 따라서 현 세대의 한국 소아청소년을 대상으로 한 성장 발육 시기에 대한 보다 정확한 평가가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 한국 소아청소년 표준 골연령 도표를 이용하여 평가한 SMI 및 MP3 단계별 골연령을 조사하여 최대 성장기에 해당하는 단계를 알아보고자 하였으며, 이를 통해 성장 중인 부정교합 환자의 치료 계획 수립, 치료방법 및 시기에 중요한 영향을 미치는 성장 발육 평가 자료를 제공하고자 함에 그 목적이 있다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2013년 1월 1일부터 2015년 12월 31일까지 3년 동안 이대목동병원 소아청소년과에 내원하여 골연령 판정을 위해 수완부 방사선 사진을 촬영한 만 7세부터 16세 사이의 환자 중 수부에 선천적 기형 혹은 외상 경험이 없으며 중지 중절골의 골단과 골간단의 폭이 같아지는 단계(SMI 2단계, MP3 F단계) 및 그 이상의 단계에 해당하는 남아 182명, 여아 181명, 총 363명의 소아청소년을 대상으로 하였다. 본 연구는 이대목동병원 기관윤리 위원회로부터의 승인을 거쳐 진행되었다(승인번호 2018-09-027).

2. 연구방법

1) 골연령 평가

전자의무기록을 이용하여 이대목동병원 영상의학과에서 수완부 방사선 사진을 통해 한국 소아 청소년의 표준 골연령 도표를 바탕으로 판정한 골연령을 조사하였다[13].

2) 수완부골 성숙도 평가

수완부 방사선 사진에서 Fishman[15]이 제안한 SMI 방법에 따라 2 - 11단계로 평가하였다.

3) 중지 중절골 성숙도 평가

수완부 방사선 사진에서 중지의 중절골 부위만을 관찰하여 Hägg와 Taranger[19]가 제안한 MP3 5단계(F, FG, G, H, I단계)로 평가하였다.

3. 평가 방법

2명의 평가자(소아치과 의사 2명)에 의해 시행되었으며 평가자의 재현성 검증을 위해 2주의 간격을 두고 20명을 무작위로 선정하여 재평가를 시행하였다.

4. 통계분석

수집된 자료들은 SPSS Statistics ver. 22.0 (IBM Corporation, USA) 프로그램을 이용하여 통계적으로 분석하였다. 평가자의 재현성 검정을 위해 kappa 검정을 시행하였다.

III. 연구 결과

1. SMI 단계에 따른 골연령

SMI 단계에 따른 평균 골연령 및 표준편차는 Table 1에 기술하였으며 남아, 여아 각각에서 SMI 2단계 11.18세, 9.34세, SMI 3단계 11.51세, 9.69세, SMI 4단계 12.08세, 10.61세, SMI 5단계 12.26세, 11.75세, SMI 6단계 13.35세, 11.75세, SMI 7단계 13.82세, 12.49세, SMI 8단계 14.86세, 13.39세, SMI 9단계 14.74세, 13.73세, SMI 10단계 15.61세, 14.00세, SMI 11단계 16.00세, 14.08세로 나타나 동일 단계에서 성별에 따른 골연령을 비교하였을 때 여아가 평균 1.41세 더 빠른 골연령을 보였다.

Table 1. Mean bone age with standard deviation according to SMI stages

Sex	SMI stage	N	Bone age Mean \pm SD (year)
Male	2	8	11.18 \pm 0.76
	3	33	11.51 \pm 0.82
	4	14	12.08 \pm 0.85
	5	9	12.26 \pm 0.98
	6	24	13.35 \pm 1.02
	7	35	13.82 \pm 1.10
	8	11	14.86 \pm 0.53
	9	13	14.74 \pm 0.98
	10	30	15.61 \pm 0.59
	11	5	16.00 \pm 0.00
	Female	2	14
3		32	9.69 \pm 0.79
4		38	10.61 \pm 0.91
5		4	11.75 \pm 0.50
6		23	11.75 \pm 0.77
7		26	12.49 \pm 0.68
8		13	13.39 \pm 0.48
9		17	13.73 \pm 0.49
10		13	14.00 \pm 0.27
11		1	14.08 \pm 0.00

SMI = Skeletal maturational indicator, SD = Standard deviation

2. MP3 단계에 따른 골연령

MP3 단계에 따른 평균 골연령 및 표준편차는 Table 2와 같으며 남아, 여아 각각에서 F단계 11.43세, 9.64세, FG단계 12.06세, 10.65세, G단계 12.75세, 11.75세, H단계 14.40세, 13.08세, I 단계 15.66세, 14.03세로 역시 동일 단계에서 여아가 평균 1.41세 더 빠른 골연령을 보였다.

IV. 총괄 및 고찰

성장기에 있는 소아청소년의 성공적인 교정치료를 위해서는 환자 개개인의 최대 성장 시기를 정확히 예측하여 이를 고려한 적절한 치료 계획을 세우는 것이 중요하다. 본 연구에서는 성장 평가의 다양한 방법 중 SMI 방법 및 MP3 방법에 따른 단계별 골연령을 한국 어린이의 표준 골연령 도표에 근거하여 조사하였다.

Table 2. Mean bone age with standard deviation according to MP3 stages

Sex	MP3 stage	N	Bone age Mean \pm SD (year)
Male	F	35	11.43 \pm 0.78
	FG	30	12.06 \pm 0.94
	G	21	12.75 \pm 0.98
	H	61	14.40 \pm 0.85
	I	35	15.66 \pm 0.56
Female	F	46	9.64 \pm 0.71
	FG	42	10.65 \pm 1.03
	G	28	11.75 \pm 0.71
	H	45	13.08 \pm 0.68
	I	20	14.03 \pm 0.22 ⁱ

MP3 = Middle phalanx of the middle finger, SD = Standard deviation

한국 소아 청소년의 표준 골연령 도표는 1997년 3407명의 한국 어린이를 대상으로 TW2-20 방법을 사용하여 제작되었으며 [13] 최근의 연구에서 이 자료를 이용한 한국 소아청소년의 골연령 판정 결과 Greulich-Pyle 방법 및 TW3 방법과 비교하여 가장 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다[14]. TW2-20 방법은 수완부의 전체적인 골 성숙 단계를 반영할 수 있으므로 각 골 성숙 단계의 불일치로 인한 오류를 최소화하고 객관적인 결과를 얻을 수 있다[20].

본 연구에서는 SMI 단계에 따른 평균 골연령을 산출하고 이를 2017년 한국 소아청소년 성장 도표[21]와 비교하여 사춘기 최대 성장이 나타나는 단계를 예측하고자 하였다. 2017년 한국 소아 청소년 성장 도표에 따르면 사춘기 최대 성장이 나타나는 시기는 남아에서는 11.91 - 12.83세(11세 11개월 - 12세 10개월), 여자에서는 9.41 - 10.83세(9세 5개월 - 10세 10개월)로서 이를 본 연구에서 산출된 단계별 골연령에 대입하면 사춘기 최대 성장기가 관찰되는 SMI 단계는 남아에서 SMI 4 - 5단계, 여아에서 SMI 3 - 4단계로 예측할 수 있다.

최대 성장기가 나타나는 SMI 단계에 대한 이전 연구에서 1982년 Fishman[15]은 남자에서 SMI 6단계, 여자에서 SMI 5단계라고 하였고, 1980년 Hägg와 Taranger[18]는 SMI 6단계라고 보고하였으며 1989년 한국인을 대상으로 한 연구에서 Kim과 Lee[17]는 남자는 5 - 7단계, 여자는 6 - 7단계에서 가장 많이 나타난다고 하였다. 이전 연구들의 결과와 비교하였을 때, 본 연구에서는 남녀 모두에서 더 이른 단계에서 최대 성장기가 나타났다.

MP3 단계는 Hägg와 Taranger[18,19]에 의해 제안되었으며 F 단계는 성장 개시기로서 40%에서 사춘기 최대 성장기 onset 전에 나타난다고 하였고 FG단계는 대부분 사춘기 최대 성장기 1년 전, G단계는 대부분 사춘기 최대 성장기 또는 1년 후, H 및 I단계는 성장 하강기에 나타난다고 하였다. 이를 바탕으로 Abdel-Kader[16]는 골 성숙 평가를 위해 중지 중절골만을 관찰하는 MP3 방법을 제안하였으며 F단계는 성장 개시기, FG단계는 성장 가속기, G단계는 최대 성장기, H 및 I단계는 성장 하강기로 분류하였다. 본 연구 결과 2017년 한국 소아청소년 성장 도표에 근거한 사춘기 최대 성장기로 예측되는 MP3 단계는 남아에서 FG - G단계, 여아에서는 F - FG단계로서, F - FG단계를 최대 성장기 이전으로 분류하는 기존의 분류와는 다른 결과를 나타내었다.

이전 연구에서 Özer 등[22]은 남자만을 대상으로 한 연구에서 MP3 단계와 경추골 성숙도와의 연관성 조사를 통해 F단계의 0%, FG단계의 15%, G단계의 86%가 최대 성장기에 있다고 하였으며, 본 연구에서도 남아에서 유사한 결과를 보였다. Hegde 등[23]의 연구에서는 F단계의 14%, FG단계의 20%, G단계의 66%가 최대 성장기에 있었으며 F단계의 7%, G단계의 25%는 이미 최대 성장기를 지났다고 하였으며, 본 연구의 여아에서의 결과와 같이 F단계 역시 최대 성장기에 해당될 수 있음을 시사한다.

본 연구의 결과를 통해 기존 연구 결과보다 더 이른 SMI 및 MP3단계에서 사춘기 최대 성장이 일어남을 확인하였다. 이와 같은 결과는 과거보다 개선된 영양 섭취로 인해 소아청소년의 성장 속도가 빨라지고 그에 따라 사춘기 최대 성장이 과거보다 조기에 일어나기 때문인 것으로 사료된다. 실제로 2007년 한국 소아청소년 표준 성장 도표[24]에 따르면 사춘기 최대 성장기가 나타나는 시점이 남아에서는 12.75 - 13.75세, 여아에서는 10.25 - 11.50세였으나 2017년 한국 소아청소년 성장 도표[21]에 따르면 그 시기가 남아에서는 11.91 - 12.83세, 여아에서는 9.41 - 10.83세로서 10년 동안 남아에서는 0.84 - 0.92세, 여아에서는 0.84 - 0.67세 빨라졌다.

신장과 안면의 최대 성장기는 일치하거나 안면의 최대 성장기가 신장에 비해 6 - 12개월 늦게 나타나므로[15,25-27], 이와 같이 신장의 사춘기 최대 성장 시기가 빨라짐에 따라 안면의 최대 성장기 역시 앞당겨질 것으로 예측된다. 따라서 성장을 이용한 교정치료를 요하는 경우 남자는 SMI 4 - 5단계 및 MP3 FG - G 단계, 여자는 SMI 3 - 4 단계 및 MP3 F - FG단계에 해당하는 경우 동적 치료의 개시를 고려해야 한다.

본 연구 결과는 국내 소아청소년에 대한 결과로 일반화하기에는 대상자의 수가 부족하므로 임상에서 활용 가능한 신뢰할만한 결과를 얻기 위해서는 향후 대상자 수의 확대를 통한 후속 연구가 필요하다. 또한 본 연구에서 1997년에 제작된 한국 소아 청

소년의 표준 골연령 도표를 근거로 골연령 판정이 이루어졌다는 점 역시 한계로 들 수 있다. Kim 등[14]에 의하면 2002년부터 2012년까지 7 - 12세 사이의 정상 소아청소년을 대상으로 한국 소아 청소년의 표준 골연령 도표에 의해 골연령을 평가한 연구에서 연대 연령과의 오차가 평균 1.13개월로 나타나 신뢰할 만하다고 하였으나, 관련 연구가 미비한 실정이며 최신의 한국 소아청소년 표준 골연령 도표 역시 부재하다. 따라서 향후 이러한 한계를 보완한 추가적인 연구가 이루어진다면 보다 정확한 최대 성장기의 예측이 가능할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 후향적 횡단적 연구로 이대목동병원 소아청소년과에 내원한 363명의 환자에서 SMI 및 MP3 단계별 평균 골연령 및 사춘기 최대 성장기가 나타나는 SMI 및 MP3 단계를 알아보고, 이를 통해 성장 중인 부정교합 환자의 치료 계획 수립, 치료방법 및 시기에 중요한 영향을 미치는 성장 발육 평가 자료를 제공하고자 하였다. 한국 소아 청소년의 표준 골연령 도표를 바탕으로 수완부 방사선 사진에서 평가된 골연령에 따른 SMI 및 MP3 단계별 평균 골연령을 산출한 결과 사춘기 최대 성장기가 남아에서는 SMI 4 - 5단계 및 MP3 FG - G단계, 여아에서는 SMI 3 - 4단계 및 MP3 F - FG단계에서 나타남을 확인하였다.

References

1. Bishara SE, Jamison JE, Peterson LC, DeKock WH : Longitudinal changes in standing height and mandibular parameters between the ages of 8 and 17 years. *Am J Orthod*, 80:115-135, 1981.
2. Burstone CJ : Process of maturation and growth prediction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 49:907-919, 1963.
3. Fishman LS : Maturational patterns and prediction during adolescence. *Angle Orthod*, 57:178-193, 1987.
4. Grave KC, Brown T : Carpal radiographs in orthodontic treatment. *Am J Orthod*, 75:27-45, 1979.
5. Hansman CF, Maresh MM : A longitudinal study of skeletal maturation. *Am J Dis Child*, 101:305-321, 1961.
6. Murata M : Japanese specific bone age standard on the TW2. *Clin Pediatr Endocrinol*, 2(Suppl 3):35-41, 1993.
7. Greulich WW, Pyle SI : Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. *Am J Med Sci*, 238:393, 1959.
8. Chapman SM : Ossification of the adductor sesamoid and

- the adolescent growth spurt. *Angle Orthod*, 42:236-244, 1972.
9. Demirjian A, Buschang PH, Tanguay R, Patterson DK : Interrelationships among measures of somatic, skeletal, dental, and sexual maturity. *Am J Orthod*, 88:433-438, 1985.
 10. Graber TM, Swain BF : Current orthodontic concepts and techniques, 1st ed. WB Saunders company, 1-55, 1969.
 11. Grave KC, Brown T : Skeletal ossification and the adolescent growth spurt. *Am J Orthod*, 69:611-619, 1976.
 12. Tanner JM, Whitehouse RH, Goldstein H, *et al.* : Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method), 2nd ed. Academic Press, London, 1-106, 1983.
 13. Yeon KM : Standard bone-age of infants and children in Korea. *J Korean Med Sci*, 12:9-16, 1997.
 14. 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*, 16:201-205, 2015.
 15. Fishman LS : Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on hand-wrist films. *Angle Orthod*, 52:88-112, 1982.
 16. Abdel-Kader HM : The reliability of dental x-ray film in assessment of MP3 stages of the pubertal growth spurt. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 114:427-429, 1998.
 17. Kim HL, Lee DJ : A longitudinal study on the pubertal growth peak and maturity stages of the hand-wrist in malocclusion. *Korean J Orthod*, 19:123-133, 1989.
 18. Hägg U, Taranger J : Maturation indicators and the pubertal growth spurt. *Am J Orthod*, 82:299-309, 1982.
 19. Hägg U, Taranger J : Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta Odontol Scand*, 38:187-200, 1980.
 20. Bull RK, Edwards PD, Hughes IA, *et al.* : Bone age assessment: a large scale comparison of the Greulich and Pyle, and Tanner and Whitehouse (TW2) methods. *Arch Dis Child*, 81:172-173, 1999.
 21. Korea Centers for Disease Control and Prevention : The 2017 Korean National Growth Charts for children and adolescents. Available from URL: <http://www.cdc.go.kr/CDC/contents/CdcKrContentView.jsp?cid=77683&menuIds=HOME001-MNU1130-MNU2743-MNU2748-MNU2744> (Accessed on October 15, 2018).
 22. Özer T, Kama JD, Özer SY : A practical method for determining pubertal growth spurt. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 130:131, 2006.
 23. Hegde DY, Baliga S, Yeluri R, Munshi AK : Digital radiograph of the middle phalanx of the third finger (MP3) region as a tool for skeletal maturity assessment. *Indian J Dent Res*, 23:447-453, 2012.
 24. Korea Centers for Disease Control and Prevention : The 2007 Korean National Growth Charts for children and adolescents. Available from URL: http://www.cdc.go.kr/CDC/cms/content/mobile/35/1235_view.html (Accessed on November 8, 2018).
 25. Pike JB : A serial investigation of facial and statural growth in seven to twelve year old children. *Angle Orthod*, 38:63-73, 1968.
 26. Bergersen EO : The male adolescent facial growth spurt: its prediction and relation to skeletal maturation. *Angle Orthod*, 42:319-338, 1972.
 27. Bambha JK, Van Natta P : Longitudinal study of facial growth in relation to skeletal maturation during adolescence. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 49:481-493, 1963.

국문초록

사춘기 최대 성장 단계 예측을 위한 SMI 및 MP3 단계별 골연령 평가

이연주 · 마연주

이화여자대학교 의과대학 목동병원 소아치과학교실

본 연구의 목적은 한국 소아청소년 표준 골연령 도표를 이용하여 평가한 SMI 및 MP3 단계별 골연령을 조사하여 최대 성장기에 해당하는 단계를 알아보고, 이를 통해 성장 중인 부정교합 환자의 치료 계획 수립, 치료방법 및 시기에 중요한 영향을 미치는 성장 발육 평가 자료를 제공하고자 함이다.

이대목동병원 소아청소년과에 내원한 363명의 환자의 수완부 방사선 사진에서 한국 소아 청소년의 표준 골연령 도표를 바탕으로 영상의학과 의사에 의해 판정된 골연령을 조사하였다. 동일한 방사선 사진에서 평가된 SMI 및 MP3 단계에 따른 평균 골연령을 산출하였다.

본 연구 결과 사춘기 최대 성장기가 남아에서는 SMI 4 - 5단계 및 MP3 FG - G단계, 여아에서는 SMI 3 - 4단계 및 MP3 F - FG단계에서 나타남을 확인하였다.