

Lateral Cephalometric Measurement of Skeletal Class III malocclusion Patients with Uncertainty

Young Jae Sung, Ji-Soo Song, Hong-Keun Hyun, Young-Jae Kim,
Jung-Wook Kim, Ki-Taeg Jang, Sang-Hoon Lee, Teo Jeon Shin

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Seoul National University

Abstract

The purpose of this study was to calculate uncertainty of orthodontic measurement in skeletal class III malocclusion children using lateral cephalometry analysis software which obtained traceability in previous study. Using this data, standard reference of measurement value for skeletal class III malocclusion was obtained.

Lateral cephalometric data was collected from 144 children who visited Pediatric Dentistry from 2017 to 2020 for orthodontic treatment. Orthodontic measurement was analyzed with software which obtained traceability. Type A evaluation of uncertainty and type B evaluation of uncertainty was calculated to obtain combined standard uncertainty and expanded uncertainty. Standard reference of skeletal class III children was compared to standard reference of skeletal class I children.

Distribution range for skeletal class III malocclusion children aged 6 to 10 with 95% confidence interval was provided using calculated uncertainty of orthodontic measurement value.

Key words : Traceability, Uncertainty, Skeletal Class III malocclusion

I. 서 론

치과 분야에서 다양한 분석 프로그램을 통한 방사선 영상의 계측이 임상적으로 널리 이용되고 있다. 대표적으로 프로그램을 이용한 측방두부계측방사선 영상 분석은 부정교합에 기여하는 골격적인 부조화를 연구하는데 있어서 유용한 방법이다. 측정된 교정 계측값을 이용한 정확한 교정적 진단은, 성공적인 교정 치료를 위한 가장 중요한 단계라고 할 수 있다. 측정값의 신뢰성 확보는 필수적이나, 치과 분야에서 사용하는 측정 장비의 소급성이 확보되지 않는 경우가 대부분이다. 소급성(Traceability) 이

란 측정 장비를 더 높은 정확성을 가진 장비, 그리고 궁극적으로는 1차 표준(Primary standard)으로 연결시키는 문서화된 비교 고리로 정의되며[1], 이론적으로 소급성이 확보되지 않은 프로그램의 측정 값은 참값을 정확히 반영하기 어렵다. 따라서 측정값이 참값을 얼마나 정확히 대변하는지 확인하기 위해 측정장비의 소급성을 확보하는 것은 매우 중요하다. 불확도(Uncertainty)란 측정 결과와 관련하여, 측정량을 합리적으로 추정된 값들의 분산 특성을 나타내는 변수로 정의한다[1]. 즉, 측정 시에 측정값이 분포하는 범위를 어느 정도 신뢰할 수 있는 지에 대한 개념이라고 할 수 있다.

Corresponding author : Teo Jeon Shin

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Seoul National University, 101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul, 03080, Korea

Tel: +82-2-2072-2607 / Fax: +82-2-744-3599 / E-mail: snmc94@snu.ac.kr

Received June 5, 2020 / Revised July 10, 2020 / Accepted July 10, 2020

골격성3급 부정교합의 추천되는 교정적 치료의 시기는 유치 열기나 초기 혼합치열기로, 소아치과에서 정확하고 빠른 진단이 요구된다[2,3]. 특히 아시아에서 상대적으로 유병율이 높고, 3급 부정교합의 진단 및 치료에 측방두부방사선사진 영상이 널리 사용되는 것을 감안하면 정확한 측방두부방사선 사진 영상의 계측값 측정이 필수적이다[4]. 하지만 골격성 3급 부정교합 환자의 측방두부방사선사진 영상 계측값의 참조 표준(standard reference)에 대한 연구가 부족하며, 현재까지 국내외적으로 소급성이 확보된 분석 프로그램을 이용한 방사선 영상의 계측은 전무하다.

이번 연구에서는 소급성이 확보된 두부계측방사선 분석 프로그램을 이용하여 만 6 - 10세 사이의 골격성 3급 부정교합 환자의 측방두부방사선사진영상 계측값의 불확도를 계산하여, 95% 신뢰도를 가지는 계측값의 분포 범위를 제시하고자 하였다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 대상

서울대학교 치의학대학원 생명윤리심의위원회 승인을 받은 후 (IRB File No. : S-D20200026) 연구를 수행하였다.

2017년도 3월부터 2020년 3월까지 골격성3급 부정교합의 치료를 위해 서울대학교 치과병원 소아치과를 내원한 만 6 - 10세 사이 환자 144명을 대상으로 연구를 진행하였다. 연구 대상은 다음과 같은 기준으로 선정되었다.

- 1) 초기 혼합치열기인 환자
- 2) 전치부 반대 교합, 절단 교합을 보이는 환자
- 3) 교정 진단 결과 골격성 3급 부정교합으로 진단받은 환자
- 4) 이전에 약정형적/교정적 치료를 받지 않은 환자
- 5) 영구치의 선천적 결손이 없는 환자

2. 연구 방법

- 1) 측방두부계측방사선사진의 촬영 및 소급성이 확보된 프로그램을 이용한 분석

3급 부정교합의 진단을 위해 본원 영상치학과에서 촬영된 측방 두부계측방사선 사진을 후향적으로 분석하였다. 계측값은 교정 분석 프로그램 V ceph 5.5 (Osstem, Seoul, Korea)를 사용하여 계산하였고 이번 연구에서 사용된 측정프로그램의 소급성은 Lee 등[5]의 연구의 결과를 활용하였다. 분석에 사용된 항목은 Lee 등[5]의 연구와 동일하게 설정하였고, Table 1에 나타나 있다.

Table 1. Cephalometric skeletal and dental measurement

Measurement	Definition
Convexity	Distance from point A to N-Pog plane
Maxillary depth	Angle determined by Frankfort horizontal (FH) plane and Na-A line
Facial depth	Angle determined by FH plane and Na-Pog plane
SNA	Angle determined by point S, point N, and point A
SNB	Angle determined by point S, point N, and point B
ANB	Angle determined by point A, point N, and point B
Cranial deflection	Angle determined by FH plane and Ba-N line
Cranial length	Distance between point CC and N
Lower facial height	Angle determined by point ANS, point Xi, and point PM
Facial axis	Angle determined by Ba-N plane and Pt-Gn plane
Mandibular plane angle	Angle determined by FH plane and mandibular plane
Mandibular arc	Angle determined by plane Dc-Xi and PM-Xi plane
Corpus length	Distance between point Xi and PM
L1 to Apo (mm)	Distance from lower incisor edge to A-Pog line
L1 to Apo (degree)	Angle formed by the intersection of tooth axis of lower incisor and A-Pog line
U1 to Apo (mm)	Distance from upper incisor edge to A-Pog line
U1 to Apo (degree)	Angle formed by the intersection of tooth axis of upper incisor and A-Pog line
L1 to Mandibular plane	Angle formed by the intersection of tooth axis of lower incisor and mandibular plane
Interincisal angle	Angle formed by the intersection of tooth axis of upper incisor and lower incisor
Upper molar position	Distance between pterygoid vertical to the distal of upper molar
Nasolabial angle	Angle formed by intersection of Cm-Sn line and Sn-Ls
UL inclination	Angle determined by FH plane and Sn-Ls plane
UL to E.plane	Distance from point UL to E-line
LL to E.plane	Distance from point LL to E-line
ODI	A-B to Mn plane ± FH to palatal plane
APDI	Facial depth ± Facial plane to AB ± FH to palatal plane
McA	Distance from point A Nv line (perpendicular to FH plane from point N)
McPog	Distance from point Pog Nv line(perpendicular to FH plane from point N)
U1 to FH	Angle formed by the intersection of tooth axis of upper incisor and FH plane

2) 불확도(uncertainty) 산출 방법

이 연구에서 A형 불확도 평가와 B형 불확도 평가로 나뉘서 측정값의 불확도를 계산하였다. A형 불확도는 측정값의 평균과 표준편차를 통계적인 방법으로 계산하며, B형 불확도는 측정값의 분포를 확률밀도함수로 가정하여 표준 편차를 계산한다. 측정 불확도에 기여하는 성분을 모두 표준불확도로 변환하여 표현하며, 표준불확도는 측정값의 표준편차를 나타낸다. 이번 연구에서는 Fig. 1와 같은 과정으로 불확도를 계산하였고, A, B형 불확도 및 이를 이용한 합성, 확장 불확도의 계산은 Lee 등[5]의 연구에서 사용한 방법을 이용하여 진행하였다. 불확도의 계산 과정은 아래에 기술된 방법을 사용하여 진행하였다.

(1) 측정 수학적 모델의 설정

측정량을 구체적으로 설정하는 것이 불확도를 계산하기 위한 가장 중요하며, 이번 연구에서는 Lee 등[5]의 연구와 동일하게 측방두부계측방사선 사진을 촬영하고 난 이후에 측정된 계측값을 측정량으로 설정하였다. 이번 연구에서 측정량의 수학적 모델은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$L_e = f(L) = L_p + c$$

L_e 는 측정된 교정 계측값이며 L_p 는 교정 계측값, c 는 측정시스템의 계통적 효과의 보정에 대한 불확도이다.

(2) A형 불확도 (U_A)

① 측정 결과의 불확도 (U_{A1})

각 교정 계측값을 V ceph 5.5 프로그램을 이용하여 측정하

였으며, 총144명의 결과의 표준편차를 A형 불확도로 사용하였다.

② 반복 측정의 불확도 (U_{A2})

동일 환자에서 10번 반복 측정한 결과의 표준 편차를 A형 불확도로 사용하였다.

(3) B형 불확도 (U_B)

B형 불확도는 통계적 분석에 의존하지 않고 미지의 변수가 가질 수 있는 확률 분포를 설정한 후 이의 표준 편차를 계산하여 산출한다. 하지만 어떠한 확률 분포를 가지는지에 대한 정보가 충분하지 않거나 측정 불확도의 상한값과 하한값만 추정할 수 있는 경우, 값이 그 분포 사이에 있을 가능성이 동일한 직사각형 분포 또는 일양 분포로 가정할 수 있다[1]. 입력량의 한계값이 a 인 직사각형 분포를 따를 때 확률 분포의 표준편차는 다음 식으로 구할 수 있다[1].

$$U_B = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (a: \text{입력량의 한계값})$$

① 최소 분해능으로 발생하는 불확도 (U_{B1})

V-ceph 5.5 프로그램에서 계산되는 측정결과는 소수점 둘째 자리까지 표시되며 따라서 최소분해능으로 인해 발생하는 불확실성을 포함해야한다. Lee 등[5]의 연구에서 사용한 방법과 동일하게 길이의 경우 최소 분해능이 0.01 mm 이고, 각도의 경우에는 0.01° 이므로, 각각 -0.005 mm에서 0.005 mm, -0.005°에서 0.005° 사이의 직사각형 확률 분포를 가정할 수 있다. 따라서, B형 불확도를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{길이: } U_B = \frac{0.005 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 2.88 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\text{각도: } U_B = \frac{0.005^\circ}{\sqrt{3}} = 2.88 \times 10^{-3}^\circ$$

② 두부 회전(angulation)으로 인해 발생하는 불확도 (U_{B2})

측방두부 방사선사진 촬영 시에 두부의 회전에 의한 불확도가 유발될 수 있다. Lee 등[5]의 연구에서 길이는 0.20 mm, 각도는 0.30°의 차이가 유발됨을 확인하였다. 이번 연구는 Lee 등[5]의 연구의, 두부회전으로 발생하는 차이 값을 이용하여 직사각형 분포를 가정한 B형 불확도를 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{길이: } U_B = \frac{0.020 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 1.15 \times 10^{-1} \text{ mm}$$

$$\text{각도: } U_B = \frac{0.030^\circ}{\sqrt{3}} = 1.73 \times 10^{-1}^\circ$$

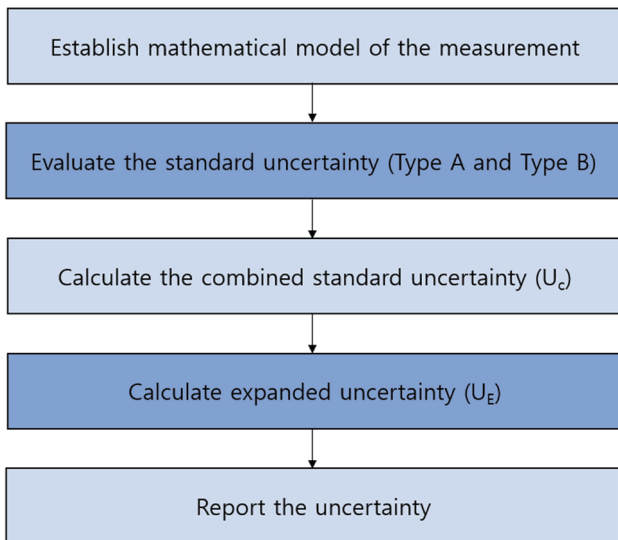


Fig. 1. Methods to calculate uncertainty.

(4) 합성표준불확도와 확장불확도의 계산

합성표준불확도는 측정 불확도에 기여하는 불확도 요소가 여러 가지일 경우 각각 요소에 의한 표준 불확도를 합성한 값이다. 계산된 A형 불확도와 B형 불확도를 이용하여 각각의 값의 제곱의 합의 제곱근을 취하여 합성표준불확도 (U_c)를 계산할 수 있다. 확장불확도(U_E)는 측정값에 대해 추정값이 이루는 분포에 대해서 측정값의 대부분이 포함될 것으로 기대되는 구간으로, 확장인자를 곱하여 계산할 수 있다. 신뢰 수준 95%의 경우 확장인자 $k=2$ 를 곱하여 확장불확도를 계산할 수 있다[1].

합성표준불확도(U_c) =

$$\sqrt{(\text{측정결과불확도})^2 + (\text{반복측정불확도})^2 + (\text{최소분해능불확도})^2 + (\text{Angulation 불확도})^2}$$

확장불확도(U_E) = 확장인자($k=2$) × 합성표준불확도

III. 연구 성적

연구에 포함된 환아는 총 144명이며, 그 중 남자 아이는 76명, 여자 아이는 68명이다(Table 2). 나이 분포 중 만 7세가 62명으로 가장 많았으며, 평균 나이는 만 7.4세이다. 나이 분포는 다음과 같다 (Table 3).

측방두부계측방사선사진을 분석한 후에, Convexity, Maxillary depth, SNA, McA 값으로 상악골 열성장 여부를 판단하였고, Facial depth, SNB, Corpus length, McPog 값으로 하악골 과성장을 판단하였으며 동시에 나타난 경우 복합 요인으로 진단하였다. 144명의 환자 중 상악 열성장의 경우가 57명(39%)로 가장 많았으며, 복합요인 경우 51명(35%), 하악 과성장의 경우 36명(25%)로 나타났다(Table 4).

1. V-Ceph 프로그램의 소급성 확보

Lee 등[5]의 연구에서, V-Ceph 5.5. 프로그램에서 측정한 길이 값은 실제값 보다 0.04 mm 작게 측정되었으며 각도는 0.11° 작게 측정됨을 확인하였다.

2. 골격성 3급 부정교합 환자의 불확도 계산

계산된 불확도는 Table 5에 나타나 있다. 결과를 종합해 볼 때, 골격성 III급 부정교합으로 진단된 만 6 - 10세 사이 환아의 측방두부방사선 계측값의 참조 표준은 95% 신뢰 구간에서 Table 6와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 서울대학교 치과병원에서 두부계측방사선영상을 촬영한 후, V-ceph 프로그램으로 분석한 골격성 3급 부정교합인 만 6 - 10세 환자의 교정 계측값은 95%의 신뢰도

로 범위 내에 분포함을 확인하였다.

3. 골격성 3급 부정교합 남자와 여자간의 참조 표준 비교

불확도를 고려한 남자, 여자 계측값의 참조 표준은 다음과 같다(Table 7). 두개골 길이(Cranial length)와 하악체 길이(Corpus length)가 남자에서 여자보다 길게 나타났다. 남자에서 하악 전치의 돌출, 순측 경사가 더 크게 나타났다.

4. 골격성 3급 부정교합의 원인에 따른 계측값의 참조 표준 비교

골격성 3급 부정교합의 원인을 상악 열성장, 하악 과성장, 복합 요인으로 나눠 분석한 계측값의 참조 표준은 다음과 같다 (Table 8).

5. 골격성 3급 부정교합 환자와 1급 부정교합 환자 계측값의 참조 표준 비교

골격성 3급 부정교합으로 진단 받은 6 - 10세 사이 144명의 환아와 Lee 등[5]의 연구에서 골격성 1급 부정교합으로 진단 받

Table 2. Sex distribution of cases

Sex	Number of patients (n)	Percentage (%)
Male	76	52.3
Female	68	47.2
Total	144	100

Table 3. Age distribution of cases

Age (year)	Number of patients (n)	Percentage (%)
6	16	11.1
7	62	43.1
8	51	35.4
9	11	7.6
10	4	2.8
Total	144	100

Table 4. Distribution of skeletal class III cases

Skeletal class III	Number of patients (n)	Percentage (%)
Retrusive Maxilla	57	39.6
Protrusive Mandible	36	25.0
Combination	51	35.4
Total	144	100

Table 5. The mean, standard deviation, correction value, and uncertainty values obtained in this study

Measurement	Mean	Standard Deviation (U _{A1})	Correction value	U _{A2}	U _{B1}	U _{B2}	U _c	U _E
Convexity	0.09	1.77	0.04	0.28	0.00	0.12	1.80	3.60
Maxillary depth	87.79	2.36	0.11	0.72	0.00	0.17	2.47	4.95
Facial depth	87.70	2.27	0.11	0.66	0.00	0.17	2.37	4.75
SNA	79.18	2.93	0.11	0.36	0.00	0.17	2.96	5.92
SNB	78.92	3.12	0.11	0.21	0.00	0.17	3.13	6.25
ANB	0.26	1.51	0.11	0.37	0.00	0.17	1.56	3.12
Cranial deflection	27.69	1.78	0.11	0.56	0.00	0.17	1.88	3.76
Cranial length	55.27	2.71	0.04	0.49	0.00	0.12	2.76	5.51
Lower facial height	45.33	3.78	0.11	1.52	0.00	0.17	4.08	8.16
Facial axis	88.30	3.35	0.11	0.22	0.00	0.17	3.36	6.72
Mandibular plane angle	28.08	4.54	0.11	1.02	0.00	0.17	4.66	9.31
Mandibular arc	34.91	4.69	0.11	2.29	0.00	0.17	5.22	10.44
Corpus length	64.44	3.23	0.04	1.07	0.00	0.12	3.41	6.81
L1 to APo(mm)	4.62	1.68	0.04	0.24	0.00	0.12	1.70	3.39
L1 to APo(degree)	23.05	4.85	0.11	0.77	0.00	0.17	4.92	9.83
U1 to APo(mm)	2.80	2.04	0.04	0.21	0.00	0.12	2.06	4.12
U1 to APo(degree)	21.69	6.37	0.11	0.92	0.00	0.17	6.44	12.87
L1 to Mand.pl	87.35	6.36	0.11	1.26	0.00	0.17	6.48	12.97
interincisal angle	135.27	9.50	0.11	1.40	0.00	0.17	9.60	19.20
Upper molar position	9.60	2.56	0.04	0.81	0.00	0.12	2.69	5.37
Nasolabial angle	90.48	12.14	0.11	6.84	0.00	0.17	13.93	27.87
UL inclination	115.92	8.10	0.11	5.80	0.00	0.17	9.96	19.93
UL to E.plane	0.38	1.87	0.04	0.45	0.00	0.12	1.93	3.86
LL to E.plane	2.82	2.20	0.04	0.22	0.00	0.12	2.21	4.42
ODI	65.47	4.83	0.11	1.35	0.00	0.17	5.02	10.03
APDI	87.92	3.76	0.11	0.47	0.00	0.17	3.80	7.59
McA	-2.18	2.41	0.04	0.74	0.00	0.12	2.52	5.04
McPog	-4.20	4.23	0.04	1.22	0.00	0.12	4.40	8.80
U1 to FH	109.30	6.86	0.11	1.12	0.11	0.17	6.95	13.90

은 만 6 - 13세 환아 100명의 계측값의 참조 표준을 비교하였다. 시상면 분석, 치아치조 분석, 연조직 분석, 수직적 분석으로 나누어 진행하였다.

1) 시상면 분석

상악의 열성장과 관련된 수치인 convexity, maxillary depth, SNA, McA 값은 3급 부정교합에서 보다 작았고, 하악의 과성장과 관련된 수치인 Facial depth, SNB, McPog 값은 3급 부정교합에서 보다 크게 관찰되었다. 상악과 하악의 골격적 차이를 나타내는 지표는 ANB 와 APDI 값 또한 두 군에서 차이를 보였다 (Table 9).

2) 치아 치조 분석

1급 부정교합과 비교 시, 3급 부정교합 군에서 하악 전치의 돌출, 설측 경사 가 관찰되며 상악 전치의 후퇴, 설측 경사가 관찰된다. 또한, 3급 부정교합군에서 전치간각도(interincisal angle) 가 크게 관찰된다(Table 10).

3) 연조직 분석

비순각(nasolabial angle)은 3급 부정교합군에서 작게 나타났으며, 3급 부정교합 군에서 상순의 후퇴가 관찰되고 하순의 위치에는 큰 차이를 보이지 않는다(Table 11).

Table 6. Standard reference of lateral cephalometric measurement of children with skeletal class III malocclusion (95% confidence interval)

Measurement	skeletal Class III Standard Reference
Convexity	0.13±3.60
Maxillary depth	87.90±4.95
Facial depth	87.81±4.75
SNA	79.29±5.92
SNB	79.03±6.25
ANB	0.37±3.12
Cranial deflection	27.80±3.76
Cranial length	55.31±5.51
Lower facial height	45.44±8.16
Facial axis	88.41±6.72
Mandibular plane angle	28.19±9.31
Mandibular arc	35.02±10.44
Corpus length	64.48±6.81
L1 to APo(mm)	4.66±3.39
L1 to APo(degree)	23.16±9.83
U1 to APo(mm)	2.84±4.12
U1 to APo(degree)	21.80±12.87
L1 to Mand.pl	87.46±12.97
interincisal angle	135.38±19.20
Upper molar position	9.64±5.37
Nasolabial angle	90.59±27.87
UL inclination	116.03±19.93
UL to E.plane	0.42±3.86
LL to E.plane	2.86±4.42
ODI	65.58±10.03
APDI	88.03±7.59
McA	-2.14±5.04
McPog	-4.16±8.80
U1 to FH	109.41±13.90

Table 7. Standard reference of lateral cephalometric measurement between male and female (95% confidence interval)

	Male Standard Reference	Female Standard Reference
Convexity	-0.13±3.65	0.42±3.47
Maxillary depth	87.78±4.88	87.92±5.06
Facial depth	88.78±4.77	87.53±4.68
SNA	79.78±5.98	79.43±5.87
SNB	79.78±6.49	78.99±6.03
ANB	0.78±3.21	0.55±3.00
Cranial deflection	27.78±3.77	27.68±3.75
Cranial length	56.78±4.65	54.21±5.60
Lower facial height	45.78±7.97	45.26±8.39
Facial axis	88.78±6.25	88.39±7.26
Mandibular plane angle	28.78±9.06	28.10±9.65
Mandibular arc	34.78±10.24	35.12±10.72
Corpus length	65.78±6.25	62.91±6.03
L1 to APo(mm)	4.78±3.77	4.36±2.83
L1 to APo(degree)	24.78±9.77	22.19±9.61
U1 to APo(mm)	2.78±4.22	2.67±4.01
U1 to APo(degree)	21.78±11.78	21.70±14.08
L1 to Mand.pl	87.78±13.48	87.23±12.45
interincisal angle	134.78±18.69	136.44±19.68
Upper molar position	9.78±5.54	9.31±5.14
Nasolabial angle	89.78±27.42	91.96±28.27
UL inclination	117.78±19.34	114.61±20.28
UL to E.plane	0.78±3.76	0.22±3.96
LL to E.plane	3.78±4.50	2.69±4.34
ODI	65.78±11.18	65.97±8.59
APDI	88.78±7.75	87.51±7.33
McA	-2.19±5.03	-2.08±5.09
McPog	-3.77±8.93	-4.59±8.63
U1 to FH	110.78±13.68	108.67±14.10

4) 수직적 분석

하안모고경(Lower facial height) 값과 ODI 값은 모두 3급 부정교합군에서 작게 나타났다. 하악평면각(Mandibular plane angle) 값은 두 군 간의 큰 차이가 없으며 3급 부정교합에서 안면각(facial axis) 이 더 크게 관찰된다(Table 12).

IV. 총괄 및 고찰

1931년 Broadbent[6]에 의해 도입된 측방 두부계측방사선사진은 부정교합을 진단하고 이에 기여하는 상하악골 간의 부조화를

분석하는데 널리 사용되고 있다. 정확한 교정적 진단을 위해서는 높은 정확성의 두부 계측 방사선 분석이 필요하다. 모든 측정에는 오차를 수반하며, 측정 시 참값(True value)의 측정이 불가능하기 때문에 측정량의 추정값을 사용한다. 따라서, 정확하고 신뢰성이 높은 측정값을 얻기 위해서는 측정 장비 및 프로그램의 소급성을 확보하는 것이 필수적이다. 이론적으로 소급성이 확보되지 않은 측정 장비의 측정 결과는 참값을 반영하기 어렵다. Lee 등[5]의 연구로 본원에서 사용되는 V ceph 프로그램은 소급성을 확보하였다. 측정된 교정값은 길이 0.04 mm, 각도 0.11°로 분석 프로그램이 높은 신뢰도의 측정값을 가지고 있음을 확인하였다.

Table 8. Standard reference of retrusive maxilla, protrusive mandible, combination (95% confidence interval)

	Retrusive Maxilla	Protrusive Mandible	Combination
Convexity	0.57±3.38	0.94±3.32	-0.93±3.03
Maxillary depth	86.31±3.85	90.80±2.79	87.63±3.45
Facial depth	85.80±2.88	89.92±3.38	88.57±3.67
SNA	77.65±4.69	82.04±4.13	79.19±5.43
SNB	77.00±4.97	81.13±4.93	79.82±5.76
ANB	0.76±2.84	1.02±3.15	-0.52±2.59
Cranial deflection	27.79±3.77	28.13±3.75	27.56±3.74
Cranial length	55.61±5.40	54.18±5.41	55.79±5.35
Lower facial height	46.18±7.93	45.50±6.80	44.57±9.03
Facial axis	86.50±5.89	89.63±6.26	89.67±5.97
Mandibular plane angle	30.15±7.99	27.11±9.30	26.76±9.30
Mandibular arc	34.62±9.89	34.38±9.91	35.91±11.30
Corpus length	62.81±4.66	65.51±7.70	65.60±6.77
L1 to APo(mm)	4.45±3.03	5.12±3.43	4.58±3.69
L1 to APo(degree)	22.35±7.92	24.15±10.93	23.36±10.80
U1 to APo(mm)	2.98±3.70	3.33±3.65	2.33±4.69
U1 to APo(degree)	21.65±11.22	23.90±10.80	20.48±15.21
L1 to Mand.pl	87.22±10.90	88.40±14.82	87.08±13.80
interincisal angle	136.33±14.50	132.28±18.20	136.49±23.46
Upper molar position	8.58±4.94	11.39±5.39	9.59±4.57
Nasolabial angle	91.74±26.56	94.95±27.06	86.25±27.81
UL inclination	112.61±17.77	117.48±18.27	118.82±21.25
UL to E.plane	0.47±3.62	1.08±3.55	-0.10±4.09
LL to E.plane	2.49±4.47	3.50±4.32	2.81±4.31
ODI	67.04±8.80	63.79±10.44	65.20±10.25
APDI	86.33±6.26	87.74±6.67	90.14±7.62
McA	-3.75±3.97	0.81±2.79	-2.41±3.50
McPog	-7.86±5.46	-0.29±6.25	-2.75±6.85
U1 to FH	106.74±11.16	112.66±12.47	110.11±15.47

Table 9. Sagittal analysis between skeletal class III and skeletal class I malocclusion

Sagittal analysis	skeletal Class III Standard Reference	skeletal class I Standard Reference
Convexity	0.13±3.60	3.45±2.38
Maxillary depth	87.90±4.95	89.28±3.84
Facial depth	87.81±4.75	86.09±3.86
SNA	79.29±5.92	80.41±5.08
SNB	79.03±6.25	76.86±4.96
ANB	0.37±3.12	3.65±1.95
APDI	88.03±7.59	80.77±4.73
McA	-2.14±5.04	-0.74±4.17
McPog	-4.16±8.80	-7.72±7.45

Table 10. Dentoalveolar analysis between skeletal class III and skeletal class I malocclusion

Dentoalveolar analysis	skeletal Class III Standard Reference	skeletal class I Standard Reference
L1 to APo(mm)	4.66±3.39	3.67±4.65
L1 to APo(degree)	23.16±9.83	23.64±10.24
U1 to APo(mm)	2.84±4.12	7.71±5.37
U1 to APo(degree)	21.80±12.87	32.03±14.74
L1 to Mand.pl	87.46±12.97	92.95±11.65
interincisal angle	135.38±19.20	124.66±21.23

Table 11. Soft tissue analysis between skeletal class III and skeletal class I malocclusion

Soft tissue analysis	skeletal Class III Standard Reference	skeletal class I Standard Reference
Nasolabial angle	90.59±27.87	91.43±20.22
UL inclination	116.03±19.93	116.98±14.41
UL to E.plane	0.42±3.86	2.36±3.71
LL to E.plane	2.86±4.42	2.86±5.45

측정 불확도(Measurement Uncertainty)는 측정량을 합리적으로 추정할 값의 분산 상태를 나타내는 지표이다[1]. 즉, 측정량의 참값이 존재할 수 있는 값의 범위를 나타내는 추정값이다. 이번 연구에서는 측방두부계측방사선 영상의 불확도 평가를 위해 불확실성을 유발하는 요소를 분석하였다. A형 불확도 평가를 위해 계측값의 반복 측정 및 개인간 교정 계측값의 차이를 고려하였고, B형 불확도 평가를 위해 최소 분해능으로 인한 불확도, 두 부회전으로 인한 불확도를 고려하였다. 측정값의 불확실성을 유발하는 모든 요소를 고려하여 계측값의 범위를 추정하였고, 이번 연구에서 제시하는 측정값은 이론적으로 100명의 환자에서 계측값을 구할 경우 95명의 환자에서 계측값의 분포 범위를 제시함을 의미한다. 현재 두부계측방사선 사진 분석시 1급 부정교합의 교정 계측값의 범위는 제시되어 있으나, 3급 부정교합의 경우 계측값에 대한 연구가 부족하다. 이로 인해, 부정교합 진단 시에 1급 교합의 교정 계측값과의 차이의 정도에 따라 진단이 이루어지고 있다. 이번 연구는 다른 연구와 달리 골격성 3급 부정교합 환자에서 소급성이 확보된 측정장비를 활용하여 불확도를 이용하여 교정 계측값의 참조표준을 제시한 최초의 연구이다. 이번 연구에서는 한국표준과학연구원에서 제작한 phantom 장비를 이용하여 계측값 측정 장비의 길이, 각도에 대한 소급성이 이미 확보되어 있는 소프트웨어 분석장비를 활용하여 교정 계측값을 측정하였다[5]. 하지만 이번 연구와 유사하게 3급 부정교합 환자의 교정 계측값을 측정하는 Choi 등[7]의 연구에서는, 계측값을 측정하는 분석소프트웨어의 소급성이 확보되지 않았다. 분석소프트웨어의 소급성이 확보되지 않은 경우 계측치의 참값에서 벗어난 측정값에 계통적 오차가 발생할 수 있음을 의미한다. 다시 말하면 소급성이 확보되지 않은 측정장비를 통해 계측한 값은 참값의 반영 정도를 확인하기가 어렵고, 측정값은 불확도의 모든 요소를 고려해야 분포를 예측할 수 있다. 이 연구는 이전의 연구와는 다르게 측정장비의 소급성을 확인하고 불확도 요소를 고려하였고, 이를 통해 95% 신뢰도 범위에서 만 6 - 10세

Table 12. Vertical analysis between skeletal class III and skeletal class I malocclusion

Vertical analysis	skeletal Class III Standard Reference	skeletal class I Standard Reference
Lower facial height	45.44±8.16	47.2±6.85
Facial axis	88.41±6.72	85.24±5.04
Mandibular plane angle	28.19±9.31	28.66±7.96
Mandibular arc	35.02±10.44	33.98±9.46
ODI	65.78±11.18	65.97±8.59

사이 골격성 3급 부정교합 환자 교정 계측치를 제시하였다. 이를 이용하면, 3급 부정교합 환자의 진단 및 치료에 널리 사용될 수 있으리라 생각된다.

골격성 3급 부정교합 환자의 추천되는 교정적 치료의 시기는 유치열기나 초기 혼합치열기로, 일반적으로 진단을 위한 측방두부계측방사선 사진은 상하악 영구 전치가 맹출한 이후에 촬영한다. 유치의 치축은 영구치와 비교할 때 교합평면에 대해 더 수직적이기 때문에, 교정 계측값의 영향을 줄 수 있다. 따라서 3급 부정교합으로 진단된 만 6 - 10세 사이 환자 중, 상하악 영구 전치가 맹출한 초기 혼합치열기 환자를 연구 대상에 포함하였으며, 선천적 결손치가 있거나, 이전에 악정형적/교정적 치료를 받은 환자는 제외하였다.

골격적 3급 부정교합의 원인은 상악골의 후퇴, 하악골의 돌출, 혹은 복합 요인으로 나눌 수 있다. 이 연구에서는 상악과 관련된 수치인 Convexity, Maxillary depth, SNA, McA 값이 1급 부정교합 교정 계측값보다 작을 때 상악 열성장으로 판단하였으며, 하악과 관련된 수치인 Facial depth, SNB, Corpus length, McPog 값이 1급 계측값보다 클 때 하악 과성장으로 판단하였다. 상악 열성장과 하악 과성장이 동시에 관찰되는 경우 복합적인 요인으로 판단하였다. Sanborn[8]의 연구에 따르면, 골격성 3급 부정교합 중 33.3%에서 상악의 열성장이 관찰되었고, 45.2%에서 하악의 과성장이 관찰되었으며 9.5%에서 복합된 양상을 보였다. Dietrich[9]의 연구에서는 37%의 상악 열성장, 31%의 하악 과성장, 1.5%의 복합 양상으로 상악 열성장이 가장 높은 비율로 나타났다. Jacobson 등[10]의 연구에서는 26%의 상악 열성장, 49%의 하악 과성장, 6%의 복합 양상으로 하악 과성장 경향이 가장 높은 비율로 나타났다. 이 연구에서는 상악 열성장의 경우 57명(39%)로 가장 많았으며, 복합 요인의 경우 51명(35%), 하악 과성장의 경우 36명(25%)로 나타났다. 종합적으로 볼 때, 골격성 3급 부정교합의 원인의 지속적인 양상이나 우세한 악궁은 보이지 않는다.

Reyes 등[11]에 따르면, 골격성 3급 부정교합의 경우 상악골이 정상 교합에 비해 다소 후퇴되어 있으나 성장 기간동안 상악골의 위치가 악화되지는 않는다. 반면, 하악골 길이의 성장은 지속적으로 나타난다. Baccetti 등[12]에 따르면 하악골의 성장은 경추골 성숙도 단계로 CS3에서 CS 4단계에 주로 일어나며, 하악골의 사춘기 최대성장이 여아의 경우 12세 10개월, 남아의 경우 14세 2개월에 일어난다. 따라서, 상악골의 성장 부족, 하악골의 지속적인 성장으로 인해 상하악골 간의 부조화는 점점 악화된다. 따라서 3급 부정교합의 환자의 경우 유치열기나 초기 혼합치열기에 악정형적 개입이 필요하다.

Baccetti 등[13]의 연구에 따르면, 6 - 7세 사이의 골격성 3급 부정교합 남자 환자군에서 여자군보다 두개저의 길이(Sella - Nasion)가 통계적으로 유의미하게 길게 관찰되었다. 또한 하악체의 길이(Condylon - Gnathion) 또한 근소하게 길게 관찰되었으며 이는 이번 연구에서의 결과와 동일하다. 또한 7 - 8세 연령에서 이번 연구와 동일하게 남자군에서 하악 전치의 돌출이 유의미하게 관찰되었다.

Tollaro 등[14]에 따르면, 골격성 3급 부정교합의 두개 안면적 특징은 유치열기 때부터 나타난다. 이번 연구에서도 시상면과 관련된 교정 계측치 모두 1급 부정교합과 비교시에 큰 차이를 보였다.

치아 각도의 변화는 상하악골의 전후방적 골격의 차이에 의한 보상성 변화이다. 영구치열기에서는 Choi 등[7]의 연구와 같이, 성장기 후반까지 이어지는 하악의 지속적 성장으로 인한 골격적 차이를 보상하기 위해 상악 전치의 순측경사, 하악 전치의 설측경사가 관찰된다. 하지만 이번 연구와 같은 초기 혼합치열기의 경우, 설측 경사되어 있는 하악 전치에 감혀 상악 전치 또한 설측 경사가 나타나는 것으로 보인다.

연조직 분석 시 골격성 3급 부정교합의 경우에서 비순각이 작게 나타났다. 따라서 골격성 3급 부정교합 환자의 진단을 위해서 측면 안모(facial profile)를 주의 깊게 관찰할 필요가 있으며, 치료 계획을 수립시에도 안모의 개선을 염두에 두어야 한다. 수직적 분석 결과, 3급 부정교합군에서 상하악골의 일관된 수직적 경향성이 관찰되지는 않는다. Chang 등[15]의 연구에서도, 1급과 3급 부정교합에서 구개면과 하악평면과의 이루는 각 간의 유의미한 차이가 관찰되지 않았다. 따라서 상하악골의 수직적 분석만으로는 골격성 3급 부정교합을 진단할 수 없다.

연령이 증가함에 따라 여러 교정 계측값들이 변화한다. Baccetti 등[12]의 골격성 3급 부정교합 환자 종적 연구에 따르면, 성장 기간동안 SNA 값의 1.4° 증가, SNB 값의 3.3° 증가, ANB 값의 -1.9° 변화, 하악 평면각의 -2.1° 변화 등이 나타나며, 연조직에서도 유의미한 변화가 관찰된다. 하지만 이번 연구에서는 성

장에 따른 연령별 계측값 변화를 고려하지 않았으며, 이 한계점을 보완하기 위해서는 3급 부정교합 환아를 대상으로 한 전향적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한 골격성 3급 부정교합의 요인을 시상면 분석 교정 계측값을 통해 상악골 열성장, 하악골 과성장, 복합 요인으로 분류하였는데, 수치상으로 이를 분류하는 명확한 기준이 마련되지 않았다는 점 또한 한계라고 할 수 있다.

이번 연구는 불확도를 고려하여 만 6 - 10세 사이 골격성 3급 부정교합 환자 계측값의 95% 신뢰도를 가지는 계측값의 분포 범위를 최초로 제시하였다는 데 의의가 있다.

V. 결 론

이번 연구에서는 기존에 소급성이 확보된 교정 분석 프로그램을 이용하여 소아치과에서 정확한 진단이 필요한 골격성 3급 부정교합 환자의 교정 계측값의 불확도를 계산하였다. 이를 통해 만 6 - 10세 사이의 골격성 3급 부정교합 환자의 교정 계측값의 95% 신뢰도를 가지는 분포 범위를 제시하였다.

Authors' Information

Young Jae Sung <http://orcid.org/0000-0001-8804-9535>
 Ji-Soo Song <http://orcid.org/0000-0002-4469-5903>
 Hong-Keun Hyun <http://orcid.org/0000-0003-3478-3210>
 Young-Jae Kim <http://orcid.org/0000-0003-4916-6223>
 Jung-Wook Kim <http://orcid.org/0000-0002-9399-2197>
 Ki-Taeg Jang <http://orcid.org/0000-0002-4060-9713>
 Sang-Hoon Lee <http://orcid.org/0000-0001-8345-8372>
 Teo Jeon Shin <http://orcid.org/0000-0003-4499-8813>

References

1. Bureau international des Poids et Mesures : Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections). Available from URL: https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf (Accessed on May 18, 2020).
2. Kajiyama K, Murakami T, Suzuki A : Comparison of orthodontic and orthopedic effects of a modified maxillary protractor between deciduous and early mixed dentitions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 126:23-32, 2004.

3. Campbell PM : The dilemma of Class III treatment: early or late? *Angle Orthod*, 53:175-191, 1983.
4. Hardy DK, Cubas YP, Orellana MF : Prevalence of angle class III malocclusion: A systematic review and meta-analysis. *Open J Epidemiol*, 2:75-82, 2012.
5. Lee JM, Song JS, Shin TJ, *et al.* : Lateral Cephalometric Measurements of Class I Malocclusion Patients with Uncertainty. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 45:65-74, 2018.
6. Broadbent BH : A new X-ray technique and its application to orthodontia: the introduction of cephalometric radiography. *Angle Orthod*, 51:93-114, 1931.
7. Choi HJ, Kim JY, Park KT, *et al.* : Cephalometric Characteristics of Korean Children with Class III Malocclusion in the Deciduous Dentition. *Angle Orthod*, 80:86-90, 2010.
8. Sanborn RT : Differences between the facial skeletal patterns of class III malocclusion and normal occlusion. *Angle Orthod*, 25:208-222, 1955.
9. Dietrich UC : Morphological variability of skeletal Class 3 relationships as revealed by cephalometric analysis. *Rep Congr Eur Orthod Soc*, 131-143, 1970.
10. Jacobson A, Evans WG, Preston CB, Sadowsky PL : Mandibular prognathism. *Am J Orthod*, 66:140-171, 1974.
11. Reyes BC, Baccetti T, McNamara JA : An estimate of craniofacial growth in Class III malocclusion. *Angle Orthod*, 76:577-584, 2006.
12. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA : Growth in the Untreated Class III Subject. *Semin Orthod*, 13:130-142, 2007
13. Baccetti T, Reyes BC, McNamara JA : Gender differences in Class III malocclusion. *Angle Orthod*, 75:510-520, 2005.
14. Tollaro I, Baccetti T, Bassarelli V, Franchi L : Class III malocclusion in the deciduous dentition: a morphological and correlation study. *Eur J Orthod*, 16:401-408, 1994.
15. Chang HP, Kinoshita Z, Kawamoto T : Craniofacial pattern of Class III deciduous dentition. *Angle Orthod*, 62:139-144, 1992.

국문초록

불확도를 고려한 골격성 3급 부정교합 환자의 측방 두부방사선영상 계측값의 측정

성영제 · 송지수 · 현홍근 · 김영재 · 김정욱 · 장기택 · 이상훈 · 신터전

서울대학교 치의학대학원 소아치과학교실

이번 연구의 목표는 기존의 연구로 소급성이 확보된 측방 두부계측방사선영상 분석 프로그램을 이용하여, 골격성 3급 부정교합 환자의 교정 계측값의 불확도를 계산하는 것이다. 이를 통해 골격성 3급 부정교합 환자의 측방 두부방사선사진영상 계측값의 참조 표준을 마련하고자 하였다.

2017년 3월 1일부터 2020년 3월까지 3년간 서울대학교 치과병원 소아치과에 내원한 만 6세에서 10세 사이의 환자 중 골격성 3급 부정교합으로 진단받은 144명의 환자의 데이터를 이용하였다. 이전의 연구에서 소급성이 확보된 계측 프로그램을 이용하여 교정 계측값을 측정하였다. 불확도의 측정은 A형 불확도와 B형 불확도로 나누어서 이루어졌으며, 이를 통해 합성표준불확도와 확장 불확도를 계산하였다. 이를 바탕으로, 골격성 3급 부정교합의 교정 계측값의 참조 표준을 제시하고, 골격성 1급 부정교합의 참조 표준과 비교하였다.

이번 연구를 통해, 만 6 - 10세 사이 골격성 3급 부정교합 환자 교정 계측치의 불확도를 계산하여 95%의 신뢰도를 가지는 교정 계측값의 분포 범위를 제시하고자 하였다.