

## 다변량 기법을 이용한 혼합치열기 분석법

서승현<sup>a</sup> · 안홍석<sup>b</sup> · 이신재<sup>c</sup> · 임원희<sup>d</sup> · 김봉래<sup>e</sup>

본 연구는 다변량 기법을 도입하여 치아 크기의 다양성을 고려하면서 정확성이 높은 혼합치열기 분석법을 개발하기 위해 시행되었다. 견치 및 소구치 크기를 예측하는 데 이용된 변수는 상악 증절치, 상악 제1대구치, 하악 증절치, 하악 측절치 및 하악 제1대구치로서 총 5개 치아 크기 변수가 이용되었다. 우선 정상교합자 연구 표본 307명을 5개 치아 변수를 이용하여 k-means 군집 분석으로 치아 크기에 따라 나눈 후 판별식을 이용, 치아 크기가 큰 그룹과 작은 그룹으로 분류하였다. 이후 견치와 소구치 크기의 합을 예측하기 위하여 남녀별, 상하악별, 치아 크기 그룹별로 다중 선형 분석을 이용하여 회귀식을 구했다. 검증 표본에는 504명의 부정교합자가 이용되었으며, 이들에 대하여 정상교합자로부터 도출된 판별식을 이용하여 2그룹으로 할당된 후 정상교합자로부터 도출된 회귀식을 이용하여 상악과 하악의 견치 및 소구치 크기 합을 예측하였다. 오차 분석 결과 정상교합자는 최대 0.71, 부정교합자 검증표본은 최대 0.82 mm의 residual standard deviation 값을 보였다. 부정교합 분류별, 치아 크기 패턴별로 예측 오차의 유의한 차이는 없었다. 1 mm 및 2 mm 이상의 예측 오차를 보인 빈도는 각각 17.3%와 1.8%였다. 본 연구 결과 도출된 혼합치열기 분석법은 기존의 연구들과 비교하여 그 정확성이 높은 것으로 고찰되었다. 다만, 임상 적용 시 복잡한 계산 과정으로 인하여 전산화 환경에서 더욱 유용할 것으로 생각된다. (대치교정지 2009;39(2):112-119)

**주요 단어:** 치아 크기 예측, 군집 분석, 판별 분석, 다중 회귀

### 서론

혼합 치열기 분석(mixed dentition analysis, MDA)은 발육중인 아동의 교합을 평가하고 맹출을 유도하는데 필요한 정보로서 중요시되어 왔으며, 맹출이 되지 않은 치아 크기를 예측하는 예측력을 중심으로 연구되어 왔다. 또한, 치아와 골격의 인종간 다양성에 의거 많은 나라에서 다양한 인종에 대하여 현재도 계속적인 보고가 이루어지고 있다. 치과 임상에서 주로 사용되는 MDA는 Moyers<sup>1</sup>가 예측표(prediction table) 형식을 고안한 이후 Tanaka와 Johnston<sup>2</sup>의 방법과 같이 이미 맹출한 치아의 크기

를 토대로 개체 내 치아 크기의 상관 관계를 이용하여 미맹출 치아 크기를 예측하는 이른 바 회귀 분석 방법이 주류이다. 1980년대 중반까지만 해도 더 정확한 예측을 위하여 x-ray를 이용한 방법들이 보고되기도 했다.<sup>3-7</sup> 비록 x-ray를 이용한 방법이 회귀식만 이용할 때보다 약간 더 상관 계수가 높기는 하지만 교정 진단 시 굳이 필수적이지 않은 소구치 부위의 치근단 방사선 사진<sup>3,6</sup> 혹은 45° cephalometric radiograph<sup>7</sup>를 여러 장 촬영해야 하는 문제점도 고려해야 하며, 또한 촬영 후 확대율을 보정해야 하는 절차의 번거로움과 이에 따르는 시간 및 비용상 단점 때문에 오늘날 nonradiographic method가 주류를 이루고 있는 것으로 보인다.

기존 MDA가 인종과 성별에 따라 그 오차가 매우 크다는 것은 충분히 예측할 수 있으며, 진단에 영향을 미칠 수 있을 정도로 오차가 크게 발생한다는 것이 드러나기도 했다.<sup>8</sup> 또한, 교정 치료로서 기존의 부정교합을 치료하여 양호한 교합을 이루기 위한 MDA 개발 시, 회귀 분석에 의한 예측 방법의 정확성과 아울러 타당성을 검토하기 위하여 정상 교합 표본에 의거 도출된 MDA 방법의 실제 환자에

<sup>a</sup>대학원생, <sup>b</sup>부교수, <sup>c</sup>조교수, <sup>d</sup>BK조교수, 서울대학교 치의학대학원.

<sup>e</sup>공중보건학.

교신저자: 이신재.

서울시 종로구 연건동 28번지 서울대학교 치의학대학원 교정학교실.

02-2072-3019; e-mail, nonext@snu.ac.kr.

원고접수일: 2008년 9월 25일 / 원고최종수정일: 2009년 1월 12일 /

원고채택일: 2009년 1월 16일.

DOI:10.4041/kjod.2009.39.2.112

\*본 연구는 서울대학교 치과병원 연구비(04-2007-0013) 지원을 받아 시행되었음.

대한 검증은 필수적이다. 비록 선학들의 연구가 유용한 정보를 담고 있기는 하지만, 몇 가지 문제들을 거론해 볼 수 있다. 치아 크기에 관한 남녀별 성차 (sexual homogeneity)를 고려하지 않았거나, 표본의 크기가 작거나, 그 표본이 교정치료를 위하여 내원한 환자이거나, 혹은 실제 검증 표본(cross validation sample)에 대한 검증과 오차 분석이 시행되지 않은 경우가 많았다 (Table 1).<sup>9,18</sup>

정상적인 교합을 이루기 위한 특정한 조건을 찾는 것은 교정 진단 및 치료 계획 수립 시 교정학 분야에서 가장 중요시되어 온 주제였다. 그러나, 정상 교합을 이루는 데 필요한 골격 및 치아, 치조골 양상은 어느 특정한 조건에 제약되지 않으며 지극히 다양한 양상을 나타낸다고 보고되어 왔다.<sup>19,20</sup> 개개인의 다양성을 고려하기 위하여 특정한 조건이 없이 비지도적(unsupervised)으로 분류하는 방법으로

**Table 1.** Previous reports regarding mixed dentition analysis for various ethnic populations

Research	Ethnicity	Subject characteristics			Cross validation	Prediction methods
		Sample size	Subject	Gender		
Bernabé and Flores-Mir (2004) <sup>9</sup>	Peruvian	150	Normal	Separate	50	Simple regression
Diagne et al (2003) <sup>10</sup>	Senegalese	50	Patients	Separate	NA	Simple regression
Hashim and Al-Shalan (2003) <sup>11</sup>	Saudi Arabian	65	Normal	Pooled	NA	Simple regression
Nourallah et al (2002) <sup>12</sup>	Syrian	600	Patients	Pooled	50	Simple regression
Jaroontham and Godfrey (2000) <sup>13</sup>	Thai population	430	Patients	Separate	NA	Simple regression
Yuen et al (1998) <sup>14</sup>	Hong Kong Chinese	97	Normal	Separate	NA	Simple regression
Bishara and Jakobsen (1998) <sup>15</sup>	Caucasian	55	Normal	Separate	NA	Simple regression
Lee-Chan et al (1998) <sup>16</sup>	East Asian	201	Patients	Pooled	NA	Simple regression
Schirmer and Wiltshire (1997) <sup>17</sup>	American African	100	Patients	Separate	NA	Simple regression
de Paula et al (1995) <sup>7</sup>	American Brazilian	40	NA	Separate	NA	45° ceph and correlation
al-Khadra (1993) <sup>18</sup>	Saudi Arabian	34	Patients	Pooled	NA	Simple regression
Staley et al (1984) <sup>6</sup>	Caucasian	77	Normal	Pooled	29	Periapical x-rays
Staley et al (1979) <sup>5</sup>	Caucasian	83	Normal	Separate	55	Simple regression
Zilberman et al (1977) <sup>4</sup>	Israeli Children	56	Patients	Pooled	NA	Periapical x-rays
Tanaka and Johnston (1974) <sup>2</sup>	Caucasian	506	Patients	Pooled	NA	Multiple regression
Hixon and Oldfather (1958) <sup>3</sup>	Caucasian	41	Normal	Pooled	35	Full periapical x-rays
Moyers (1958) <sup>1</sup>	Caucasian					Simple regression
						Simple regression <sup>9</sup>
						Method unknown

Normal, Normal occlusion subjects; Patients, subjects who visited orthodontists; NA, not available.

다변량 군집 분석을 들 수 있다. 군집 분석은 동질성이 높으면서 다른 그룹과 가장 이질적인 그룹을 판단하기 위한 방법으로 생물정보학 분야에서 최근 널리 사용되고 있으며, 교정학 분야에서는 골격형 분류<sup>21</sup> 및 치아 크기에 따른 환자 분류 방법<sup>22</sup> 등의 이용가능성이 소개되기도 했다.

이에 본 연구는 정확성과 타당성이 높은 MDA를 개발하기 위해 시행되었으며, 궁극적으로는 디지털 모형 분석에 쓰일 수 있는 건전한 알고리즘을 구현하기 위한 목적도 지녔다. 이를 위하여 정확성이 극대화되도록 다변량 기법을 도입함과 동시에 기존 연구 방법의 단점을 보완하고자 하여 대표본 정상교합자를 대상으로 남녀 성차를 고려하면서, 치아 크기에 따른 군집화를 시행, 각각의 그룹에 대한 MDA 다중 회귀식을 도출하고 이를 다수의 부정교합 환자에게 적용하여 그 타당성을 검증하고자 하였다.

**연구방법**

**연구대상**

견치 및 소구치 크기를 예측하는 데 필요한 연구 표본(test or learning sample)은 정상교합자 남자 188명, 여자 119명(총 307명)으로 구성되었으며, 평균 연령은 20세(17 - 24세)였다. 표본 선발과 관계된 조건 및 이들의 골격, 치아 특성에 관한 기술적인 측면 및 자료 신뢰성 분석에 관한 상세한 사항은 Korean Standard Occlusion Study 관련 보고물<sup>19,22</sup>에서 참조할 수 있었다.

검증 표본(cross validation or real sample)은 2006년 8월부터 2007년 12월까지 서울대학교 치과병원에 교정치료를 위하여 내원한 교정 환자 중 좌측 제

1대구치에서 우측 제1대구치까지 모든 치아가 맹출되었고 심한 교모가 없는 11 - 31세(평균 연령 21.5세) 환자로 연령 조건을 두었다. 이때, 인접면 치아 우식증이 있거나, 인접면을 포함하는 보존 치료, 혹은 보철 치료를 받았거나, 발육성 혹은 선천성으로 치아 형태나 크기의 이상이 있는 환자들을 제외한 남자 174명, 여자 330명(총 504명)을 검증 표본으로 삼았다. 부정교합자 검증 표본을 앵글 부정교합 분류별로 파악해 보면 I급 33% (167명), II급 24% (2류 16명, 아류 40명 포함 123명), III급 43% (아류 38명 포함 214명)로 구성되었다.

**연구방법**

상악과 하악의 견치, 제1소구치 및 제2소구치 치아 크기 합을 예측하기 위해 이용된 변수는 상악 중절치, 상악 제1대구치, 하악 중절치, 하악 측절치 및 하악 제1대구치로서 총 5개 치아 크기 변수를 선택하였다.

정상교합자 개인별 치아 크기의 패턴을 분류하기 위하여 앞서 언급된 5개 치아들을 변수로 투입하여 k-means 군집분석을 시행하였다. 남자의 경우 치아 크기가 작은 쪽 군집 94명, 큰 쪽 군집 94명으로 나뉘었으며, 여자의 경우 치아 크기가 작은 쪽 군집 50명, 큰 쪽 군집 69명으로 나뉘었다.

정상교합자 군집에 대한 재할당(re-assignment) 방법은 군집에 대한 Fisher의 선형 판별 함수(linear discriminant function)의 계수를 이용하였다 (Table 2). 남자의 경우  $35.82 \times (\text{maxillary central incisor}) + 43.78 \times (\text{maxillary 1}^{\text{st}} \text{ molar}) + 13.65 \times (\text{mandibular central incisor}) + 26.22 \times (\text{mandibular lateral incisor}) + 49.63 \times (\text{mandibular 1}^{\text{st}} \text{ molar}) - 748.12$ 라는 함수와  $38.37 \times (\text{maxillary central incisor}) + 46.95 \times$

**Table 2.** Classification function coefficients which are used to cluster and then reassign the subjects to 2 groups (smaller vs. larger group)

Variables	Male		Female	
	Smaller group	Larger group	Smaller group	Larger group
Maxillary central incisor	35.82	38.37	42.65	45.03
Maxillary 1 <sup>st</sup> molar	43.78	46.95	64.81	69.47
Mandibular central incisor	13.65	14.08	33.84	37.02
Mandibular lateral incisor	26.22	27.42	20.80	22.41
Mandibular 1 <sup>st</sup> molar	49.63	53.33	57.19	60.15
Constant	-748.12	-853.62	-926.70	-1,050.69

(maxillary 1<sup>st</sup> molar) + 14.08 × (mandibular central incisor) + 27.42 × (mandibular lateral incisor) + 53.33 × (mandibular 1<sup>st</sup> molar) - 853.62라는 두 함수를 비교하여, 함수 적용 시 그 값이 가장 큰 값을 나타내는 그룹으로 판별하여 재할당하였다. 즉, 전자의 값이 크면 smaller group으로, 후자의 값이 크면 larger group으로 판별하여 재할당하는 방식이었다. 재할당에 의한 그룹과 최초의 군집 분석을 통해 분류된 군집을 비교한 결과 남자는 98.9%, 여자는 97.5% 분류 정확성을 보였다.

정상교합자 표본을 2그룹으로 군집화한 후 미맹출 견치, 제1소구치, 제2소구치 크기 함에 대한 다중 선형 회귀 분석을 이용하여 치아 크기 그룹별, 남녀별, 상하악별로 총 8개의 회귀식을 구했다. 예를 들어 치아 크기가 작은 남자의 상악 견치와 소구치 치아 크기 함(Mx345 in Table 3)은  $10.59 + 0.19 \times (\text{maxillary central incisor}) + 0.45 \times (\text{maxillary 1}^{\text{st}} \text{ molar}) + 0.03 \times (\text{mandibular central incisor}) + 0.65 \times (\text{mandibular lateral incisor}) + 0.10 \times (\text{mandibular 1}^{\text{st}} \text{ molar})$ 라는 예측 회귀식으로 표현된다. 반면 치아 크기가 큰 여자의 하악 견치와 소구치 치아 크기 함(Mn345 in Table 3)은  $2.20 + 0.34 \times (\text{maxillary central incisor}) + 0.46 \times (\text{maxillary 1}^{\text{st}} \text{ molar}) - 0.52 \times (\text{mandibular central incisor}) + 1.08 \times (\text{mandibular lateral incisor}) + 0.69 \times (\text{mandibular 1}^{\text{st}} \text{ molar})$ 라는 예측 회귀식으로 표현된다 (Table 3).

정상교합자들로부터 도출된 치아 크기 예측 회귀식은 부정교합자들에 대해 실제 적용함으로써 검증하였다. 우선 정상교합자들로부터 도출된 치아 크

기 패턴별 군집 분류식 (Table 2)을 이용하여 504명의 부정교합자 검증 표본을 치아의 크기가 작은 그룹과 큰 그룹으로 판별하여 할당했다. 이후 정상교합자들로부터 도출된 8개의 회귀식을 이용하여 남녀별 및 치아 크기 그룹별로 견치와 소구치들의 치아 크기 함을 예측하였으며, 예측 값과 실제 값을 비교하여 새로운 MDA 방법의 정확성과 타당성을 분석하기 위하여 오차 분석을 시행하였다. 오차는 예측 값 - 실제 값의 차이로 표현하였으며, 오차 분포의 정규성을 판단한 후 오차의 표준편차인 residual standard deviation (RSD)를 구했다.

연구성적

정상교합자에 대한 다중 회귀식 도출 시 모형 적합에 대한 유의성 검증 결과 적합된 회귀식은 모두 유의한 결과를 보였으며 (Table 3), 예측 정확성을 검토한 결과 RSD는 최대 0.71 mm였다 (Table 4). 적합된 회귀모형에 대한 잔차분석을 통한 모형진단 결과 정규성, 등분산성, 선형성과 독립성에 대한 가정에 문제가 없었다. 또한 다중회귀모형에서 종종 나타날 수 있는 문제인 독립변수들 간의 다중공선성 문제도 없는 것으로 보여졌다.

부정교합자 표본에 대하여 치아 크기 그룹별 및 남녀별로 오차의 정규성을 검증한 결과 상악과 하악 모두 정규성 가정에 위배되지 않았으며, 최대 RSD 값은 0.82 mm로 나타나 정상교합자보다 약간 큰 경향이 있었으나 이는 소수점 둘째 자리의 차이였으며 (Table 4), 치아 크기 그룹별 및 남녀별로 유

Table 3. Multiple regression coefficients to predict the sum of canine, 1<sup>st</sup> premolar, and 2<sup>nd</sup> premolar sizes

Dependent variable	Male				Female			
	Smaller group		Larger group		Smaller group		Larger group	
	Mx345	Mn345	Mx345	Mn345	Mx345	Mn345	Mx345	Mn345
Independent variable								
Constant	10.59	7.42	-1.06	-1.47	8.55	6.79	0.55	2.20
Maxillary central incisor	0.19	-0.12	0.67 <sup>†</sup>	0.30	0.44	0.46	0.48	0.34
Maxillary 1 <sup>st</sup> molar	0.45*	0.61 <sup>†</sup>	0.43	0.32	0.34	0.40*	0.64*	0.46
Mandibular central incisor	0.03	0.13	0.08	0.34	-0.70	-0.25	-0.34	-0.52*
Mandibular lateral incisor	0.65*	0.98 <sup>†</sup>	0.67*	0.88 <sup>†</sup>	0.83	0.99*	0.70	1.08 <sup>†</sup>
Mandibular 1 <sup>st</sup> molar	0.10	0.18	0.75 <sup>†</sup>	0.88 <sup>†</sup>	0.43	0.13	0.77 <sup>†</sup>	0.69 <sup>†</sup>
p-value for model fitting	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.015	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Mx345, Sum of maxillary canine; 1<sup>st</sup> premolar, and 2<sup>nd</sup> premolar size Mn345, sum of mandibular canine, 1<sup>st</sup> premolar, and 2<sup>nd</sup> premolar size. Statistical significance of the regression coefficients \*p < 0.05; †p < 0.01.

**Table 4.** Residual (predicted value - real value) analysis after multiple regression to predict the sum of canine, 1<sup>st</sup> premolar, and 2<sup>nd</sup> premolar using maxillary central incisor, maxillary 1<sup>st</sup> molar, mandibular central incisor, mandibular lateral incisor, and mandibular molar

		Smaller group			Larger group		
		N	Mean	RSD	N	Mean	RSD
Test sample (normal occlusion subjects)							
Male	Maxilla	94	0.00	0.70	94	0.00	0.71
	Mandible	94	0.00	0.67	94	0.00	0.68
Female	Maxilla	50	0.00	0.61	69	0.00	0.68
	Mandible	50	0.00	0.52	69	0.00	0.67
Cross validation sample (orthodontic patients)							
Male	Maxilla	89	0.00	0.71	85	-0.17	0.72
	Mandible	89	0.11	0.66	85	0.05	0.74
Female	Maxilla	58	-0.35	0.68	272	-0.46	0.82
	Mandible	58	-0.66	0.66	272	-0.93	0.73

RSD, Residual standard deviation.

의한 차이를 보이지 않았다.

검증 표본에 대하여 오차의 크기에 따른 빈도를 살펴보면 2 mm 이상의 오차를 보인 경우는 상악은 1.6%, 하악의 경우 1.8%였다. 또한, 1.1 mm 이상의 오차를 보인 경우 상악은 16.5%, 하악은 17.3%였다.

본 연구에서 도출한 모형을 이용하여, 예를 들어, 상악 중절치, 상악 제1대구치, 하악 중절치, 하악 측절치와 하악 제1대구치가 각각 8.3, 10.2, 5.2, 5.8과 10.7의 값을 가지는 남자의 상악 견치와 소구치 치아 크기 합(Mx345)을 예측하기 위하여는 연구방법 부분에서 설명한 대로 Table 2의 결과를 이용하여 우선 그룹(smaller 또는 larger group)을 할당하여야 한다. 할당될 그룹이 정해진 후 만약 smaller group 이 할당되었다면 이 환자의 상악 견치와 소구치 치아 크기 합과 하악 견치와 소구치 치아 크기 합은 Table 3의 회귀식을 이용하여 각각 다음과 같이 예측될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Mx345의 예측값} &= 10.59 + 0.19 \times (8.3) + 0.45 \times (10.2) + 0.03 \times (5.2) + 0.65 \times (5.8) + 0.10 \times (10.7) \\ &= 21.75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn345의 예측값} &= 7.42 - 0.12 \times (8.3) + 0.61 \times (10.2) + 0.13 \times (5.2) + 0.98 \times (5.8) + 0.18 \times (10.7) \\ &= 20.93 \text{ mm} \end{aligned}$$

본 연구의 검증 표본의 경우 일반인과 다른 앵글 부정교합 분류 분포를 보였기에 일반인과 검증 표본 간의 상이한 부정교합 빈도 분포에 의해 발생하는 치아 크기 예측 시 편향을 알아보기 위하여 부정교합 분류별 및 남녀별, 치아 크기 그룹별로 개개

치아의 크기, 치아 크기 합, 치열궁 장경, 치열궁 폭경, 견치간 폭경, 구치간 폭경, 기저골 장경, 기저골 폭경, available space, arch length discrepancy 항목에 관하여 다원 분산 분석을 시행한 결과 교호작용 및 주작용 모두 유의한 차이를 보이지 않았다. 부정교합 분류별로 유의한 차이를 보인 항목은 overbite와 overjet 변수뿐이었다.

**고찰**

본 연구 결과를 도출된 MDA 방법을 검증하기 위한 검증 표본의 부정교합 분류상 빈도 분포는 일반인의 부정교합 분포<sup>23</sup>와는 다르지만 우리나라 교정 환자들 중 III급 부정교합자가 더 많다는 것에 의거한 것으로 보였으며, 이러한 분포는 교정치료를 위하여 내원한 환자를 대상으로 한 연구 결과와 부합되는 특징이었다.<sup>24,25</sup>

혼합치열기 분석 방법 개발을 위하여 상악 중절치, 상악 제1대구치, 하악 중절치, 하악 측절치 및 하악 제1대구치 총 5개의 치아를 이용하였던 바, 이는 통상적인 차단교정 혹은 치료교정 시기가 절치 맹출 후 시기라는 점이 고려되었다. 다만 상악 측절치의 경우 그 맹출 시기가 지연되는 경우가 많으며, 크기의 정상 변이가 크다는 점에서 변수에서 제외하였다. Table 1에서 요약한 결과와 같이 citation classic 문헌이라 할 수 있는 Moyers<sup>1</sup>나 Tanaka와 Johnston<sup>2</sup>의 연구는 하악 절치 크기의 합만 이용하여 단순 회귀 방정식을 이용하였기 때문에, 단순한

계산으로도 미맹출 치아 크기 예측이 가능한 장점이 있었다. 그러나, 본 연구는 컴퓨터 사용을 전제로한 상태에서 MDA 개발을 염두에 두었으므로 많은 치아를 독립 변수로 포함시킴으로써 발생하는 복잡한 계산은 문제되지 않았으며, 오직 예측 정확성에 주안점을 두었다. 이와 동시에 가능한 어린 나이에 MDA를 시행할 수 있도록 의도하였으며 여기에 부합되는 것이 앞서 언급된 5개 치아라 생각되었다. MDA 개발의 모든 과정 중 치아 크기의 패턴과 관련된 sexual dimorphism<sup>22</sup>을 고려하기 위하여 항상 남녀별 구분을 두었다.

본 연구는 선학들의 연구와 비교하여 연구 방법 측면에서 몇 가지 차별성을 지녔다. 첫째, 가장 많은 수의 정상교합자로부터 미맹출 치아 크기에 대한 예측치를 구하였으며, 이를 기존 연구와 비교했을 때 가장 많은 수의 검증 표본에 대하여 검증을 시행하였다. 기존의 많은 연구들이 소수의 표본 혹은 교정 환자들만으로 MDA 식을 도출한 것에 비하여 본 연구는 표본의 숫자도 많고, 검증 절차를 통하여 오차를 분석했다. MDA의 목적이 ‘향후 발육을 거쳐 정상적인 교합을 이룰 수 있도록’하는 데 있는 만큼 1차 표본(test sample, learning sample)의 교합 양상은 충분한 선택 기준에 의거하여야 할 필요가 있다. 또한 임상 적용을 위한 검증 절차 역시 필수적인 사항이라 할 수 있다.

둘째, 성차를 고려함은 물론 개인별 치아 크기의 다양성도 고려하는 방식을 취했다. 즉, 전체 치열의 크기 패턴에 따라 치아 크기가 작은 그룹과 큰 그룹을 구분하여 MDA 방법을 도출한 것이다. 충분한 숫자의 정상교합자 표본과 검증 표본이 확보되더라도 예측 오차의 문제가 회귀 분석 방법 자체에 의해 발생할 수 있기 때문이다. 회귀 분석은 평균 근처에서는 신뢰성이 높지만 평균에서 벗어날수록 신뢰대(confidence band)가 넓으므로 극단적으로 크거나 작은 치아를 지닌 사람들에게는 그 정확성이 결여되기 쉽다는 구조적인 문제점이 있다. 이는 회귀식 도출에 이용된 표본과 달리 실제 표본에 대한 적용 시 극도로 크거나 작은 값을 보이는 경우 그 오차가 커질 수밖에 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 다변량 기법을 이용, 치아 크기에 따른 특성을 고려하여 MDA를 개발하는 방법을 시도함으로써 예측 정확성을 개선할 수 있었다. 이와 같이 집단의 특성을 고려하여 예측식을 달리 취하는 방식은 법의학적인 연령 감정에서 그 타당성이 인정된 바 있다.<sup>26</sup>

셋째, Table 1에서 제시한 바와 같이 현재 대부분

의 MDA 방법은 단순한 단순 회귀식을 적용하는 방식이었지만 본 연구에서는 다중 회귀 방법을 이용했다. 단순 회귀식의 경우 그 원리가 간단하여 실제로 공식을 이용하여 계산하도록 되어 있기는 하지만, 이미 맹출한 하악 전치 크기의 합에 어느 정도의 수치를 가감하면 개략적인 미맹출 치아의 크기 합을 예측할 수 있다는 장점이 있다. 즉, 이 방법은 계산기가 필요하지 않을 정도로 쉽고 간편하다는 것이 주된 장점이다. 문헌 고찰을 통하여 다중 회귀식을 이용한 보고도 발견할 수 있었지만,<sup>5</sup> 당시 널리 보급되지 못했던 점은 단순 회귀식의 계산 간편성 때문이었을 것이다. 그러나, 오늘날 컴퓨터를 이용한 교정 진단을 시행하는 경우가 대부분이며 진료실 환경에 디지털화가 상당 부분 도입되었기 때문에 복잡한 계산에 초래되는 불편은 크게 중요한 요소가 되지 않으므로, 오히려 간편성보다는 정확성을 제고하는 것이 더 중요한 문제로 볼 수 있다.

치아의 크기는 ethnic diversity에 의하여 영향을 받으므로, 다른 민족의 자료를 기반으로 하여 도출된 MDA 방법을 특정 민족에게 적용하여 좋은 정확성을 기대할 수 없다. 본 연구 결과 도출된 MDA 방법은 치아 크기 특성을 이용하여 군집별 분류를 통해 MDA 방법을 개발하였기 때문에 좀 더 높은 정확성을 보인 것으로 생각된다. 그동안 연구자들이 특정 인종에 대하여 특정 MDA 방식을 개발한 후 그 오차를 검증한 자료들과 비교해 보면 기존 연구에 비하여 가장 정확한 편이라 고찰할 수 있었다. Table 4에서 보고된 오차 분석에서 제공된 RSD 값은 기존 연구들<sup>10,13,14,17</sup>에서 분석된 값보다 작은 편이었다. 또한(어쩌면 오차 연구에서 더 중요할 수도 있는) 오차의 빈도를 살펴보면 본 연구 결과 검증 표본에 대하여 2 mm 이상의 오차를 보인 경우는 2% 미만이었던 바, 이는 널리 통용되고 있는 Tana-ka-Johnston 방식의 경우 53%가 넘는 미국 흑인 표본에 대하여 2 mm 이상의 오차를 보였고, 심지어 -4.31 mm의 오차가 나타났으며, 또한, 백인에서조차도 50%의 경우 2 mm 이상의 오차를 보이면서 최대 3.95 mm 오차를 보였다는 최근 연구 보고<sup>8</sup>와 대비하여 크게 개선된 정확성이라 할 수 있었다. 또한 본 연구 결과 1.1 mm 이상의 오차를 보인 경우 역시 18% 미만이었던 바, 이는 최근 페루 어린이를 대상으로 단순 회귀식을 개발한 연구에서 검증 표본의 26%가 1.1 mm 이상의 오차를 보였다는 보고<sup>9</sup>에 비하여 높은 정확성이라 볼 수 있었다.

**결론**

최근 사회 각 분야 뿐만 아니라 교정 진료실에서도 디지털 장비가 급속히 보급되고 있는 환경이 조성되고 있는 바, 영구 치열을 완전히 갖추지 않은 어린이에 대한 교정 진단 시 필수적인 혼합치열기 분석 시 이론적으로나 임상적으로 부정확한 것으로 알려진 이전 방식의 prediction table이나 단순 회귀 공식만으로는 충분하지 않으며, 다소 복잡한 연산이 필요함에도 불구하고 정확성과 타당성에 주안점을 둔 혼합치열기 분석법이 필요할 것으로 생각되었다. 본 연구에서 도출된 혼합치열기 분석 방법은 한국인 정상교합자 고유의 성차와 치아 크기 다양성을 고려하여 개발되었으며, 많은 수의 검증 표본에 대한 오차 분석 결과 기존 방법에 비하여 높은 정확성을 보였다.

**참고문헌**

1. Moyers RE. Handbook of orthodontics. 4th ed. Chicago: Year Book; 1988. p. 235-40.
2. Tanaka MM, Johnston LE. The prediction of the size of unerupted canines and premolars in a contemporary orthodontic population. J Am Dent Assoc 1974;88:798-801.
3. Hixon EH, Oldfather RE. Estimation of the sizes of unerupted canines and premolar teeth. Angle Orthod 1958;28:236-40.
4. Zilberman Y, Koyoumdjisky-Kaye E, Vardimon A. Estimation of mesiodistal width of permanent canines and premolars in early mixed dentition. J Dent Res 1977;56:911-5.
5. Staley RN, Shelly TH, Martin JF. Prediction of lower canine and premolar widths in the mixed dentition. Am J Orthod 1979;76:300-9.
6. Staley RN, O’Gorman TW, Hoag JF, Shelly TH. Prediction of the widths of unerupted canines and premolars. J Am Dent Assoc 1984;108:185-90.
7. de Paula S, Almeida MA, Lee PC. Prediction of mesiodistal diameter of unerupted lower canines and premolars using 45 degrees cephalometric radiography. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1995;107:309-14.
8. Altherr ER, Koroluk LD, Phillips C. Influence of sex and ethnic tooth-size differences on mixed-dentition space analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2007;132:332-9.
9. Bernabé E, Flores-Mir C. Appraising number and clinical significance of regression equations to predict unerupted canines

- and premolars. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2004;126:228-30.
10. Diagne F, Diop-Ba K, Ngom PI, Mbow K. Mixed dentition analysis in a Senegalese population: elaboration of prediction tables. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2003;124:178-83.
11. Hashim HA, Al-Shalan TA. Prediction of the size of unerupted permanent cuspids and bicuspid in a Saudi sample: a pilot study. J Contemp Dent Pract 2003;4:40-53.
12. Nourallah AW, Gesch D, Khordaji MN, Splieth C. New regression equations for predicting the size of unerupted canines and premolars in a contemporary population. Angle Orthod 2002;72:216-21.
13. Jaroontham J, Godfrey K. Mixed dentition space analysis in a Thai population. Eur J Orthod 2000;22:127-34.
14. Yuen KK, Tang EL, So LL. Mixed dentition analysis for Hong Kong Chinese. Angle Orthod 1998;68:21-8.
15. Bishara SE, Jakobsen JR. Comparison of two nonradiographic methods of predicting permanent tooth size in the mixed dentition. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1998;114:573-6.
16. Lee-Chan S, Jacobson BN, Chwa KH, Jacobson RS. Mixed dentition analysis for Asian-Americans. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1998;113:293-9.
17. Schirmer UR, Wiltshire WA. Orthodontic probability tables for black patients of African descent: mixed dentition analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1997;112:545-51.
18. al-Khadra BH. Prediction of the size of unerupted canines and premolars in a Saudi Arab population. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1993;104:369-72.
19. Lee SJ, Ahn SJ, Kim TW. Clinical crown angulation and inclination of normal occlusion in a large Korean sample. Korean J Orthod 2005;35:331-40.
20. Lee SJ, Moon SC, Kim TW, Nahm DS, Chang YI. Tooth size and arch parameters of normal occlusion in a large Korean sample. Korean J Orthod 2004;34:473-80.
21. Kim JY, Lee SJ, Kim TW, Nahm DS, Chang YI. Classification of the skeletal variation in normal occlusion. Angle Orthod 2005;75:311-9.
22. Lee SJ, Lee S, Lim J, Ahn SJ, Kim TW. Cluster analysis of tooth size in subjects with normal occlusion. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2007;132:796-800.
23. Lee SJ, Kim TW, Suhr CH. Study of recognition of malocclusion and orthodontic treatments. Korean J Orthod 1994;24:193-8.
24. Im DH, Kim TW, Nahm DS, Chang YI. Current trends in orthodontic patients in Seoul National University Dental Hospital. Korean J Orthod 2003;33:63-72.
25. Kim SJ, Park SY, Woo HH, Park EJ, Kim YH, Lee SJ, et al. A study on the limit of orthodontic treatment. Korean J Orthod 2004;34:165-75.
26. Kim YK, Kho HS, Lee KH. Age estimation by occlusal tooth wear. J Forensic Sci 2000;45:303-9.

## Mixed dentition analysis using a multivariate approach

Seung-Hyun Seo, BS,<sup>a</sup> Hongseok An, BS, BS, DDS,<sup>b</sup> Shin-Jae Lee, DDS, MSD, PhD,<sup>c</sup>  
Won Hee Lim, DDS, MS, PhD,<sup>d</sup> Bong-Rae Kim, BA, MS, PhD<sup>e</sup>

**Objective:** To develop a mixed dentition analysis method in consideration of the normal variation of tooth sizes.

**Methods:** According to the tooth-size of the maxillary central incisor, maxillary 1st molar, mandibular central incisor, mandibular lateral incisor, and mandibular 1st molar, 307 normal occlusion subjects were clustered into the smaller and larger tooth-size groups. Multiple regression analyses were then performed to predict the sizes of the canine and premolars for the 2 groups and both genders separately. For a cross validation dataset, 504 malocclusion patients were assigned into the 2 groups. Then multiple regression equations were applied. **Results:** Our results show that the maximum errors of the predicted space for the canine, 1st and 2nd premolars were 0.71 and 0.82 mm residual standard deviation for the normal occlusion and malocclusion groups, respectively. For malocclusion patients, the prediction errors did not imply a statistically significant difference depending on the types of malocclusion nor the types of tooth-size groups. The frequency of prediction error more than 1 mm and 2 mm were 17.3% and 1.8%, respectively. The overall prediction accuracy was dramatically improved in this study compared to that of previous studies. **Conclusions:** The computer aided calculation method used in this study appeared to be more efficient. (*Korean J Orthod* 2009;39(2):112-119)

**Key words:** Tooth size prediction, Cluster analysis, Discriminant analysis, Multiple regression

<sup>a</sup>Graduate student, <sup>c</sup>Associate Professor, <sup>d</sup>Assistant Professor, <sup>e</sup>BK Assistant Professor, School of Dentistry, Seoul National University.

<sup>b</sup>Public Health Dentist.

Corresponding author: **Shin-Jae Lee.**

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Seoul National University, 28, Yeongeon-dong, Jongno-gu, Seoul 110-749, Korea.

+82 2 2072 3019; e-mail, nonext@snu.ac.kr.

Received September 25, 2008; Last Revision January 12, 2009; Accepted January 16, 2009.