



# 스테레오 카메라를 이용한 안면부 측정의 재현성과 정확도에 대한 마네킨을 이용한 연구: 직접 인체계측, Digitizer, Stereophotogrammetry의 비교 연구

정연욱 · 양지웅 · 정 광 · 국민석 · 오희균

전남대학교 치의학전문대학원 구강악안면외과학교실

## Abstract

### Manikin Model Study on Reproducibility and Accuracy of Maxillofacial Measurements Determined by Stereocamera: Comparative Study of Direct Anthropometry, Digitizer and Stereophotogrammetry

Youn-Wook Jeoung, Ji-Woong Yang, Kwang Chung, Min-Suk Kook, Hee-Kyun Oh

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, Chonnam National University

**Purpose:** Recently, a three dimensional approach to hard and soft tissues of the maxillofacial area has been widely used. This study was to evaluate the reproducibility and accuracy of a stereocamera compared to actual measurement methods using a digital caliper and digitizer.

**Methods:** The stereoscopies of 7 head dummies with different sizes and shapes were obtained using a Di3D system (Dimensional Imaging, Glasgow, UK) after marking reference points on facial areas. From the obtained stereoscopy, 10 measurements representing the width, height and depth of each of the facial sections of the dummy were measured twice using a three dimensional reverse engineering software program (RapidForm™ 2006, Inus, Seoul, Korea). The x, y, and z coordinates of each of the three dimensional measurements were obtained and distances between two points were calculated. All procedures were repeated twice. The actual measurement method was performed twice, directly on dummies, using a digital caliper and values were compared with the previously determined values.

**Results:** The results were as follows. In the ANOVA analysis, there were no significant statistical differences among the three measurement methods. In the Bonferroni analysis, with adjustments applied for multiple comparisons, there was no difference between actual measurement methods using a digitizer and a digital caliper. However, there was some difference between using a stereocamera and actual measurement methods using a digitizer and a digital caliper in values of  $Ex_{Rt}-Ex_{Lt}$ ,  $En_{Rt}-En_{Lt}$ ,  $Ala_{Rt}-Ala_{Lt}$ ,  $Ch_{Rt}-Ch_{Lt}$ ,  $G-Pg'$ ,  $Ala_{Rt}-Prn$ ,  $Ala_{Lt}-Prn$ . The mean value for technical error in measurement (TEM) in Di3D (0.98 mm) was slightly higher than for a digital caliper (0.17 mm) and a digitizer (0.30 mm). In an intraclass correlation coefficient (ICC) there were no significant differences among the three measurement methods, but the Di3D system with the stereocamera showed relatively lower reproducibility compared to actual measurement methods using a digitizer and a digital caliper.

**Conclusion:** These results indicate that some complementary measures may be needed to improve accuracy and reproducibility in the Di3D system with stereocamera.

**Key words:** Stereocamera, Anthropometry, Digitizer, Accuracy, Reproducibility

원고 접수일 2011년 6월 13일, 원고 수정일 2011년 9월 29일,  
게재 확정일 2011년 10월 3일

책임저자 오희균

(500-757) 광주시 북구 용봉로 77, 전남대학교 치의학전문대학원 구강악안면외과  
Tel: 062-220-5436, Fax: 062-220-5437, E-mail: hkoh@chonnam.ac.kr

RECEIVED June 13, 2011, REVISED September 29, 2011,  
ACCEPTED October 3, 2011

Correspondence to Hee-kyun Oh

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, Chonnam  
National University  
77, Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 500-757, Korea  
Tel: 82-62-220-5436, Fax: 82-62-220-5437, E-mail: hkoh@chonnam.ac.kr

© 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.

## 서론

악안면부의 연조직에 대한 평가는 악교정 수술, 구순구개열의 치료, 안면부 결손 치료 등의 분석과 치료 계획, 술후 평가, 그리고 두개 안면의 성장 양상 관찰 등에 있어 필수적이다<sup>[1]</sup>. 특히 악교정 수술의 경우, 이전의 연구에서 볼 수 있듯이 안면 연조직은 연골, 결합조직, 근육 등 여러 요소의 영향을 받으며, Burston 등<sup>[2]</sup>은 골격과 치아관계 분석에만 기초하여 치료할 경우 적절한 안모를 얻기 어려우므로 안면 연조직 분석이 중요하다고 강조하였다. 악교정 수술에 이용되는 여러 분석법들은 대부분 경조직에 의존하며, 이는 환자의 안면 형태나 비율에 대해 정확한 정보를 제공할 수 없다. 연조직은 경조직에서 나타나는 변이에 비하여 두께와 형태가 다양한 변이를 나타내므로 심미적인 결과를 얻기 위해서는 연조직에 대한 분석과 이에 대한 고려가 필수적이다<sup>[3,4]</sup>.

지금까지 대부분의 악교정 환자의 안모 분석 및 치료 계획 수립 시에 주로 두부계측방사선사진과 안모사진이 많이 이용되었다. 그러나 두부계측방사선사진은 3차원적인 해부학적 구조를 2차원적 평면으로 투영시킴으로 인하여 발생하는 상의 확대와 축소, 상의 왜곡과 구조물 간의 중첩 등으로 정확한 정보를 제공하지 못하는 문제점이 있다. 안모사진은 특정 계측점에서 깊이나 방향성을 표현하지 못하는 한계가 있다<sup>[5]</sup>.

2차원적 평면을 이용하는 기존의 안모 계측 방법의 한계를 극복하기 위해 최근에 두정부의 3차원 분석 방법들이 소개되고 있다. 3차원 분석방법은 digital caliper나 digitizer를 이용한 직접 인체측정법(direct anthropometry)<sup>[6,7]</sup>, 레이저 스캔<sup>[8,9]</sup>, 스테레오 카메라<sup>[10]</sup> 및 3차원 전산화단층촬영<sup>[11]</sup> 등으로 채득한 3차원 영상에 대한 계측방법들이 사용되고 있다. 이들 3차원 계측 방법은 두정부 영역에서 표준 모집단에 대한 데이터베이스 수립, 횡단적 성장 변화에 대한 자료 수집 및 술전과 술후의 임상적 결과의 비교 등의 목적으로 사용되고 있다.

3차원 계측방법 중에서 임상에서 특별한 장비없이 가장 용이하게 사용될 수 있는 방법으로서 digital caliper를 이용한 직접 신체측정법이 많이 사용된다. 계측 시간이 비교적 짧고, 신뢰성 있는 계측을 할 수 있는 장점이 있으나 계측점으로서의 접근이 어렵거나 기준점 사이의 거리를 x, y, z 좌표가 아닌 2차원적 거리만을 측정 가능하여 정보 수집에 한계가 있다는 문제가 있다<sup>[1,12]</sup>. 이런 문제를 보완하기 위해 digitizer를 이용한 직접 신체 측정법이 사용된다. 이 방법은 두 기준점 사이의 거리를 x, y, z 좌표를 이용한 3차원적 측정이 가능하고, 여러 개의 관절부를 가지고 있어 미세한 기구조작이 가능하고 쉽게 측정할 수 있으며 신뢰성있는 계측이 가능하다. 그러나 측정시간이 길고, 환자의 움직임 등으로 문제가 된다.

최근에는 스테레오 카메라를 이용한 3차원 계측방법이 시도되고 있다. 이 방법은 1952년 Zeller<sup>[13]</sup>에 의해 최초로 3차원 안면

분석방법으로 소개된 이래 현재는 Genex, 3DMD, Di3D 시스템 등이 사용되고 있다. 그러나 Weinberg와 Kolar<sup>[14]</sup>는 스테레오 카메라의 촬영범위가 좁아 정면을 보고 촬영했을 때 양쪽 귀부위까지 충분한 영상을 얻을 수 없는 경우가 있고, 양측 관골부 너비와 같이 직접 계측만이 가능한 경우 정보 수집에 한계가 있으며, 측정대상에 따라 신뢰도의 저하가 있을 수 있다고 지적하였다. 이러한 문제점들에도 불구하고 순간적인 영상채득, 고해상도의 표면 영상 포착 등의 장점으로 인해 다양한 장비의 스테레오 카메라를 이용한 안면부 계측의 임상적 사용에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 각 장비에 대한 신뢰도 검증 연구도 시행되고 있다. Weinberg 등<sup>[1]</sup>은 캘리퍼를 이용한 직접 측정법과 스테레오 카메라의 Genex와 3DMD 시스템을 비교한 연구에서 두 가지 시스템은 -0.28에서 +0.22 범위의 작은 오차 범위와 0.60 이하의 높은 재현성을 나타낸다고 보고한 바 있다. Khambay 등<sup>[15]</sup>은 안면부 플라스틱 모델에서 스테레오 카메라의 Di3D 시스템과 CMM 시스템을 이용한 직접 인체측정법을 비교 평가하여 Di3D 시스템의 정확도와 재현성이 임상적으로 적용될 만하다고 하였다. Winder 등<sup>[16]</sup>은 안면부 마네킨 모델에서 버니어캘리퍼를 이용한 직접 신체 측정법과 Di3D 시스템을 이용한 측정을 비교하여 신뢰할 만한 정확도와 재현성을 가지고 있다고 평가하였다.

본 연구는 스테레오 카메라의 Di3D 시스템의 정확도와 재현성에 대해 digital caliper와 digitizer를 이용한 직접 인체측정법과 비교 평가해보고자 시행하였다.

## 연구방법

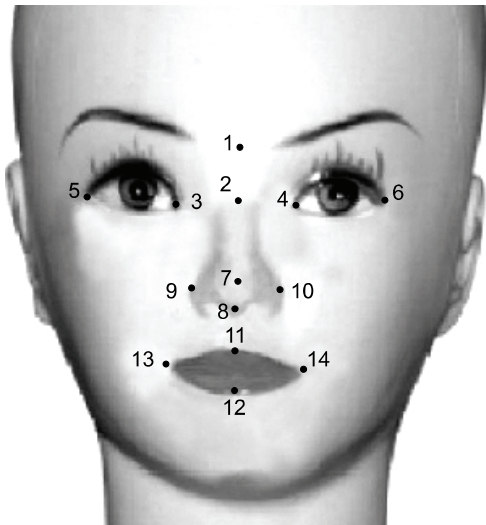
### 1. 연구대상

완전한 색상을 지니고, 실제 크기를 가지며 움직임이나 형태 변화 없이 일정한 자세를 유지할 수 있는 서로 다른 크기와 형태를 가진 두부 마네킨 7개를 본 연구의 대상으로 하였다.

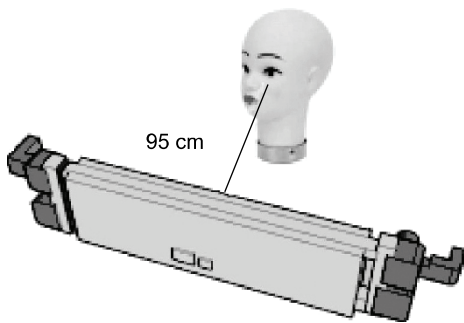
### 2. 연구방법

#### 1) 기준점 표시

각 마네킨의 안면에 검정색 잉크를 이용하여 Glabella, 좌측 및 우측 눈 사이 부위(soft tissue nasion, N'), 좌측 및 우측의 내측 눈 꼬리 부위(endocanthion, En), 좌측 및 우측의 외측 눈 꼬리 부위(exocanthion, Ex), 코 끝 부위(pronasale, Prn), 코 아래 부위(subnasale, Sn), 좌측 및 우측의 코 날개 부위(nasal alare, Ala), 윗입술 부위(labrale superius, Ls), 아래 입술 부위(labrale inferius, Li), 좌측 및 우측의 입 꼬리 부위(cheilion, Ch), 아래턱 끝 부위(soft tissue pogonion, Pg')에 해당되는 15부위에 기준점을 표시하였다(Fig. 1).



**Fig. 1.** The landmarks used in this study; 1. G, glabella; 2. N', soft tissue nasion; 3. EN<sub>RT</sub>, right endocanthion; 4. EN<sub>LT</sub>, left endocanthion; 5. EX<sub>RT</sub>, right exocanthion; 6. EX<sub>LT</sub>, left exocanthion; 7. Prn, pronasale; 8. Sn, subnasale; 9. Ala<sub>RT</sub>, right nasal alare; 10. Ala<sub>LT</sub>, left nasal alare; 11. Ls, labrale superius; 12. Li, labrale inferius; 13. Ch<sub>RT</sub>, right cheilion; 14. Ch<sub>LT</sub>, left cheilion; 15. Pg', soft tissue pogonion.



**Fig. 2.** Di3D system used in this study.

**2) 안면 입체영상 획득 및 재구성**

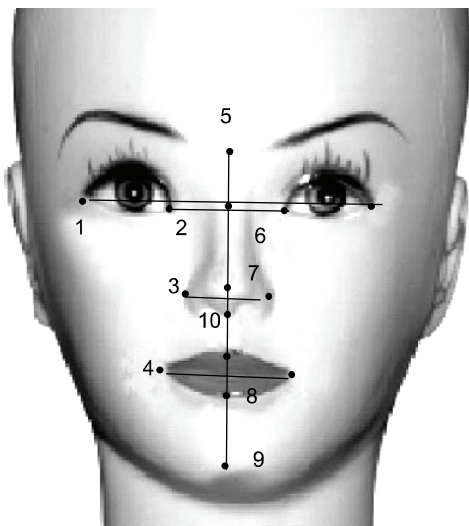
3차원 스테레오 카메라를 이용한 안면 입체영상의 획득을 위하여 제조사의 지시대로 calibration 후 마네킨의 안면이 Di3D 시스템(Dimensional Imaging)의 양측의 4개 카메라로부터 동일한 거리와 각도로 위치하면서 관촬부 최전방점과 Di3D 시스템 본체까지의 수직거리가 95 cm가 되도록 위치시킨 후 안면 영상을 채득하였다(Fig. 2). Di3D capture 프로그램(Dimensional Imaging, Glasgow, UK)을 이용하여 촬영된 4개의 2차원 안면 영상을 하나의 안면 입체영상으로 재구성하였다.

**3) 마네킨과 안면 입체영상에서 각 기준점 사이의 거리 측정**

안면의 부위별 너비, 높이, 깊이를 나타내는 10개의 측정항목을 한 명의 술자가 1주 간격으로 2회에 걸쳐 측정하였다(Fig. 3).

(1) Digital caliper를 이용한 직접 마네킨 측정: 마네킨 상에서의 digital caliper (Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 이용하여 10개의 측정항목에 대한 두 기준점 사이의 거리를 0.01 mm 단위까지 측정하였다(Fig. 4).

(2) Digitizer를 이용한 직접 마네킨 측정: 테이블 위에서 움직이지 않도록 고정시킨 마네킨 상에서 digitizer (MicroScribe G2,



Width	EX <sub>RT</sub> (5)-EX <sub>LT</sub> (6)
	EN <sub>RT</sub> (3)-EN <sub>LT</sub> (4)
	Ala <sub>RT</sub> (9)-Ala <sub>LT</sub> (10)
	Ch <sub>RT</sub> (13)-Ch <sub>LT</sub> (14)
Height	G (1)-Pg' (15)
	G (1)-Sn (8)
	Sn (8)-Pg' (15)
	Ls (11)-Li (12)
Depth	N' (2)-Prn (7)
	Ala <sub>RT</sub> (9)-Prn (7)

**Fig. 3.** Linear measurements used in this study: 1, EX<sub>RT</sub>-EX<sub>LT</sub>; 2, EN<sub>RT</sub>-EN<sub>LT</sub>; 3, Ala<sub>RT</sub>-Ala<sub>LT</sub>; 4, Ch<sub>RT</sub>-Ch<sub>LT</sub>; 5, G-Pg'; 6, N'-Prn; 7, G-Sn; 8, Ls-Li; 9, Sn-Pg'; 10, Ala<sub>RT</sub>-Prn. EX<sub>RT</sub>, right exocanthion; EX<sub>LT</sub>, left exocanthion; EN<sub>RT</sub>, right endocanthion; EN<sub>LT</sub>, left endocanthion; Ala<sub>RT</sub>, right nasal alare; Ala<sub>LT</sub>, left nasal alare; Ch<sub>RT</sub>, right cheilion; Ch<sub>LT</sub>, left cheilion; G, glabella; Pg', soft tissue pogonion; Sn, subnasale; Ls, labrale superius; Li, labrale inferius; N', soft tissue nasion; Prn, pronasale.

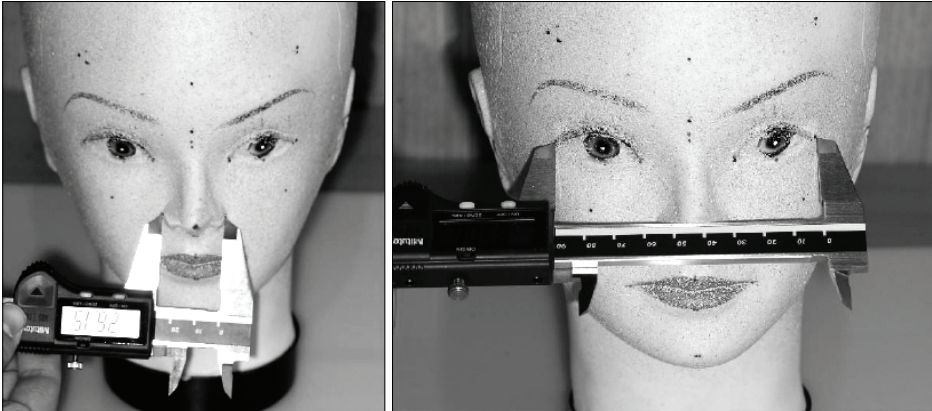


Fig. 4. Measurement using digital caliper.

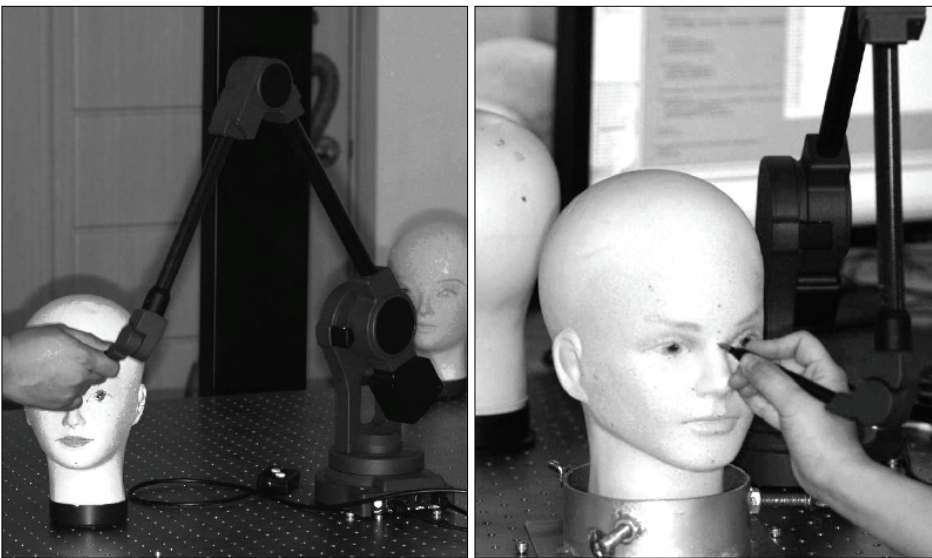


Fig. 5. Measurement using digitizer.

Amherst, MA, USA)를 이용하여 3차원상에서의 각 기준점의 좌표(x, y, z)를 구하여 10개의 계측 항목에 대한 두 기준점 사이의 거리를 0.00001 mm 단위까지 측정하였다(Fig. 5).

(3) **안면 입체영상 계측:** 3차원 역설계 소프트웨어 프로그램 (RapidForm™2006, Inus, Seoul, Korea)을 이용하여 스테레오 카메라로 획득한 안면 입체영상을 확대한 후 각 기준점(reference point)을 표시하고, 프로그램의 계측 기능을 이용하여 10개의 계측 항목에 대한 두 기준점 사이의 거리를 0.00001 mm 단위까지 측정하였다.

### 3. 계측방법의 정확도 및 재현성 평가

각 계측방법의 정확도를 평가하기 위해 digitizer와 digital caliper를 이용한 직접 마네킨 측정법과 스테레오 카메라를 이용하여 획득한 안면 입체영상에서의 계측방법으로 2회 반복 측정한 계측치를 상호 비교 분석하였다. 각 계측치에 대한 통계처리를 위하여 SPSS 12.0™ 프로그램을 이용하였다. Shapiro-Wilk 정규성 검정

후 각각 ANOVA를 이용하여 비교 분석하였다. ANOVA 분석 후 사후분석으로서 Bonferroni 다중 비교를 실시하였고, effect size에서 0.5 이하를 소효과, 0.5 이상 0.8 미만을 중효과, 0.8 이상을 대효과로 나타냈다.

각 계측 방법의 재현성을 평가하기 위해 각 계측법으로 측정된 동일 계측항목에 대하여 1주 간격으로 2회 반복 측정된 후 Dahberg식을 이용하여 계측 오차(technical error of measurement, TEM) 값을 구하고, 급내상관분석(Intraclass correlation coefficient, ICC)을 시행하였다.

$$TEM = \sqrt{\frac{\sum D^2}{2N}}$$

(D: 반복 계측치의 차이, N: 대상의 수)

**Table 1.** Means (SD) of linear measurements for each variable across all methods

Linear measurement (mm)	Digitizer		Digital caliper		Di3D	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
EX <sub>Rt</sub> -EX <sub>Lt</sub>	97.22 (5.98)	97.16 (5.97)	97.25 (6.21)	97.18 (6.09)	95.71 (6.34)	95.29 (6.03)
En <sub>Rt</sub> -En <sub>Lt</sub>	33.34 (1.85)	33.01 (1.95)	33.08 (1.95)	33.14 (1.95)	32.72 (2.68)	31.30 (1.96)
Ala <sub>Rt</sub> -Ala <sub>Lt</sub>	32.04 (6.20)	32.06 (6.30)	31.85 (6.12)	31.96 (6.06)	32.62 (6.75)	30.90 (6.19)
Ch <sub>Rt</sub> -Ch <sub>Lt</sub>	46.16 (4.43)	46.25 (4.20)	46.15 (4.49)	46.24 (4.44)	46.35 (3.95)	44.76 (4.18)
G-Pg'	98.13 (8.22)	98.04 (8.28)	97.79 (8.09)	98.04 (8.05)	98.64 (8.48)	99.01 (8.72)
G-Sn	52.35 (6.13)	52.31 (6.12)	52.31 (6.04)	52.41 (5.89)	52.67 (6.04)	52.78 (5.99)
Sn-Pg'	46.48 (4.69)	46.48 (4.69)	46.46 (4.34)	46.50 (4.59)	46.98 (4.65)	47.31 (4.73)
Ls-Li	14.39 (2.03)	14.36 (2.00)	14.36 (1.89)	14.53 (1.80)	14.69 (1.98)	14.48 (2.01)
N'-Prn	36.09 (5.85)	35.19 (6.77)	35.88 (5.82)	35.79 (5.80)	37.15 (5.73)	36.71 (5.96)

EX<sub>Rt</sub>, right exocanthion; EX<sub>Lt</sub>, left exocanthion; En<sub>Rt</sub>, right endocanthion; En<sub>Lt</sub>, left endocanthion; Ala<sub>Rt</sub>, right nasal alare; Ala<sub>Lt</sub>, left nasal alare; Ch<sub>Rt</sub>, right cheilion; Ch<sub>Lt</sub>, left cheilion; G, glabella; Pg', soft tissue pogonion; Sn, subnasale; Ls, labrale superius; Li, labrale inferius; N', soft tissue nasion; Prn, pronasale.

## 결 과

### 1. 계측방법의 정확도 평가

안면 입체영상의 정확도를 평가하기 위해 동일 계측항목에 대해 digitizer와 digital caliper를 이용한 실측치와 Di3D를 이용한 안면 입체영상에서의 계측치를 2회 반복 측정하여 Table 1과 같은 결과를 얻었다.

각 계측치에서 계측방법에 따른 차이가 있는지 알아보기 위해 정규성 검정과 ANOVA 분석을 시행한 결과 모든 값에서 유의수준보다 큰 값을 보여, 3가지 측정방법에 따른 계측값의 차이는 없는 것으로 나타났다. 내측 눈꼬리 사이(En<sub>Rt</sub>-En<sub>Lt</sub>), 우측 코 날개 부위와 코 끝 부위(Ala<sub>Rt</sub>-Prn)의 계측치가 각각 유의확률 0.50, 0.23으로 다른 변수에서보다 낮게 나와, 통계적으로 유의한 정도는 아니지만 측정 방법에 따라 어느 정도 차이가 있다고 할 수 있다(Table 2).

Bonferroni 다중비교를 실시한 결과 3가지 측정방법 모두 정확도는 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의한 차이를 보이지 않았으나, effect size에서는 digitizer와 digital caliper를 이용한 직접 신체 측정법 사이에는 차이가 거의 없는 반면에, Di3D를 이용한 방법과 digitizer 또는 digital caliper를 이용한 직접 신체측정법 사이에는 큰 차이를 보였다. 즉, digitizer와 digital caliper를 이용한 직접 신체측정법들을 비교한 경우에는 통계적으로 모든 측정치에서 유의한 차이가 없었고, effect size도 모두 0.5 이하로 두 측정방법 사이에 정확도 차이가 거의 없었다. Effect size란 통계적 검정으로 나온 값에 대한 실제적 유의성을 따지는 것으로서, Di3D와 digital caliper를 비교한 경우에서 통계적으로는 모든 측정치에서 유의하지 않았지만, EX<sub>Rt</sub>-EX<sub>Lt</sub>, En<sub>Rt</sub>-En<sub>Lt</sub>, Ala<sub>Rt</sub>-Ala<sub>Lt</sub>, Ch<sub>Rt</sub>-Ch<sub>Lt</sub>, G-Pg', Ala<sub>Rt</sub>-Prn에서 중등도(0.5 이상)의 차이가 나타났으며, 특히 Ala<sub>Rt</sub>-Prn는 1.45로 큰 차이를 보였다. Di3D와 digitizer를 비교한 경우에서 통계적으로는 모든 측정치에서 유의하지 않았지만, Di3D와 digital caliper를 비교한 경우처럼

**Table 2.** Analysis of ANOVA results

Linear measurements (mm)	ANOVA results	
Width	EX <sub>Rt</sub> -EX <sub>Lt</sub>	0.84
	En <sub>Rt</sub> -En <sub>Lt</sub>	0.50
	Ala <sub>Rt</sub> -Ala <sub>Lt</sub>	1.00
	Ch <sub>Rt</sub> -Ch <sub>Lt</sub>	0.95
Height	G-Pg'	0.98
	G-Sn	0.91
	Sn-Pg'	0.99
	Ls-Li	0.98
Depth	N'-Prn	0.96
	Ala <sub>Rt</sub> -Prn	0.23

$P < 0.05$ . EX<sub>Rt</sub>, right exocanthion; EX<sub>Lt</sub>, left exocanthion; En<sub>Rt</sub>, right endocanthion; En<sub>Lt</sub>, left endocanthion; Ala<sub>Rt</sub>, right nasal alare; Ala<sub>Lt</sub>, left nasal alare; Ch<sub>Rt</sub>, right cheilion; Ch<sub>Lt</sub>, left cheilion; G, glabella; Pg', soft tissue pogonion; Sn, subnasale; Ls, labrale superius; Li, labrale inferius; N', soft tissue nasion; Prn, pronasale.

En<sub>Rt</sub>-En<sub>Lt</sub>, Ala<sub>Rt</sub>-Ala<sub>Lt</sub>, Ch<sub>Rt</sub>-Ch<sub>Lt</sub>, G-Pg', Ala<sub>Rt</sub>-Prn에서 중등도 (0.5 이상)의 차이가 나타났으며, 특히 Ala<sub>Rt</sub>-Prn는 1.63으로 큰 차이를 보였다(Table 3).

### 2. 계측방법의 재현성 평가

Dahlberg 식을 이용하여 2회 반복 측정하여 오차 값을 산출한 결과 digital caliper를 이용한 계측치의 오차 값은 0.17 mm (range, 0.09~0.23 mm)로 가장 낮았고, digitizer를 이용한 오차 값은 0.30 mm (range, 0.11~1.47 mm)였으나, Di3D를 이용한 3차원 영상에서는 오차 값이 0.98 mm (range, 0.27~2.85 mm)로 상대적으로 높은 오차를 보였다. Digitizer를 이용한 계측방법에서는 N'-Prn 1.47 mm로 비교적 큰 오차를 나타냈으나, Di3D를 이용한 3차원 영상에서는 En<sub>Rt</sub>-En<sub>Lt</sub> 1.32 mm, Ala<sub>Rt</sub>-Ala<sub>Lt</sub> 1.39 mm, Ch<sub>Rt</sub>-Ch<sub>Lt</sub> 1.59mm, Ala<sub>Rt</sub>-Prn 2.86 mm로 4개 항목에서 큰 오차를 나타냈다.

각 계측방법에 따른 재현성을 알아보기 위하여 시행한 급내상 관분석 결과에서 digital caliper를 이용한 직접 신체계측방법의

**Table 3.** Signed difference between means (mm), effect sizes<sup>a</sup>, and post hoc comparison results<sup>b</sup> from analysis of variance (ANOVA)

Linear measurement (mm)	Digitizer vs. Digital caliper			Di3D vs. Digital caliper			Di3D vs. Digitizer		
	Mean diff.	Sig.	Effect size (d)	Mean diff.	Sig.	Effect size (d)	Mean diff.	Sig.	Effect size (d)
EX <sub>Rt</sub> -EX <sub>Lt</sub>	-0.02	ns	-0.01	1.72	ns	0.53	-1.69	ns	-0.52
EN <sub>Rt</sub> -EN <sub>Lt</sub>	0.069	ns	-0.01	1.10	ns	0.53	-1.17	ns	-0.52
Ala <sub>Rt</sub> -Ala <sub>Lt</sub>	0.15	ns	-0.01	0.15	ns	0.53	-0.29	ns	-0.52
Ch <sub>Rt</sub> -Ch <sub>Lt</sub>	0.01	ns	-0.01	0.64	ns	0.53	-0.65	ns	-0.52
G-Pg'	0.16	ns	-0.01	-0.91	ns	0.53	0.74	ns	-0.52
N'-Prn	0.05	ns	0.02	-0.66	ns	-0.27	0.61	ns	0.25
G-Sn	-0.20	ns	-0.06	-1.09	ns	-0.34	1.29	ns	0.40
Ls-Li	-0.07	ns	-0.06	-0.14	ns	-0.13	0.21	ns	0.20
Sn-Pg'	-0.03	ns	-0.01	-0.37	ns	-0.11	0.39	ns	0.12
Ala <sub>Rt</sub> -Prn	-0.31	ns	-0.18	-2.50	ns	-1.45	2.82	ns	1.63

<sup>a</sup>Effect size d defined as Mean1-Mean2/SDpooled.

<sup>b</sup>Bonferroni adjustment applied to multiple comparisons.

EX<sub>Rt</sub>, right exocanthion; EX<sub>Lt</sub>, left exocanthion; EN<sub>Rt</sub>, right endocanthion; EN<sub>Lt</sub>, left endocanthion; Ala<sub>Rt</sub>, right nasal alare; Ala<sub>Lt</sub>, left nasal alare; Ch<sub>Rt</sub>, right cheilion; Ch<sub>Lt</sub>, left cheilion; G, glabella; Pg', soft tissue pogonion; N', soft tissue nasion; Prn, pronasale; Sn, subnasale; Ls, labrale superius; Li, labrale inferius.

**Table 4.** Technical error of measurement (TEM) and intraclass correlation of measurement (ICC)

Linear measurement (mm)	Digitizer		Digital caliper		Di3D	
	ICC	TEM (mm)	ICC	TEM (mm)	ICC	TEM (mm)
EX <sub>Rt</sub> -EX <sub>Lt</sub>	1.00	0.19	1.00	0.18	0.98	0.92
EN <sub>Rt</sub> -EN <sub>Lt</sub>	0.98	0.27	0.99	0.14	0.71	1.32
Ala <sub>Rt</sub> -Ala <sub>Lt</sub>	1.00	0.14	0.99	0.11	0.96	1.39
Ch <sub>Rt</sub> -Ch <sub>Lt</sub>	1.00	0.19	1.00	0.18	0.85	1.59
G-Pg'	1.00	0.18	1.00	0.23	1.00	0.39
N'-Prn	0.95	1.47	1.00	0.09	0.99	0.45
G-Sn	1.00	0.15	1.00	0.15	1.00	0.37
Ls-Li	1.00	0.13	1.00	0.20	0.99	0.23
Sn-Pg'	1.00	0.22	1.00	0.19	1.00	0.27
Ala <sub>Rt</sub> -Prn	1.00	0.11	1.00	0.20	0.49	2.85
Average	0.99	0.30	1.00	0.17	0.90	0.98

EX<sub>Rt</sub>, right exocanthion; EX<sub>Lt</sub>, left exocanthion; EN<sub>Rt</sub>, right endocanthion; EN<sub>Lt</sub>, left endocanthion; Ala<sub>Rt</sub>, right nasal alare; Ala<sub>Lt</sub>, left nasal alare; Ch<sub>Rt</sub>, right cheilion; Ch<sub>Lt</sub>, left cheilion; G, glabella; Pg', soft tissue pogonion; N', soft tissue nasion; Prn, pronasale; Sn, subnasale; Ls, labrale superius; Li, labrale inferius.

경우 ICC 값이 1.00, digitizer를 이용한 경우가 0.99로 매우 높은 재현성을 보인 반면에, Di3D를 이용한 3차원 영상의 경우 0.90으로 약간 낮은 재현성을 나타냈으나 측정방법에 따른 통계적인 유의한 차이는 없었다. 특히, Di3D를 이용한 3차원 영상에서 내측 눈꼬리 사이(EN<sub>Rt</sub>-EN<sub>Lt</sub>)의 ICC 값이 0.71, 우측 코 날개부위와 코 끝 부위(Ala<sub>Rt</sub>-Prn)의 ICC 값이 0.49로 나와 낮은 재현성을 보였다(Table 4).

## 고찰

최근에 들어 악교정 수술의 분석과 치료계획에 3차원적인 안면 분석 방법들이 많이 이용되고 있다. 지금까지 수술 전 진단과 수술 전후 환자의 추적 관찰 시 실질적인 변화는 2차원적인 방

선사진과 안면사진을 통해서 분석되어 왔다. 3차원적 형태를 2차원적인 평면에 투사하는 것은 어느 정도의 자료 왜곡 및 손실을 동반하게 된다. 특히 악교정 수술의 경우 상악과 하악을 3차원적인 공간에서 이동시키기 때문에 2차원적 분석은 한계가 있다. 전통적으로 사용되는 두부측측방사진의 tracing의 cut-and-paste 기법은 3차원적인 움직임에 대한 충분한 시각적 자료를 제공해주지 못한다[5]. 안면 사진도 입체적인 안면을 평면적으로 나타내므로 사진으로 보이는 측정점이나 그림자에 의해 보이지 않는 측정점에 대해서는 평가할 수 없다는 단점이 있으며, 두부측측방사진 사진과 정확한 중첩이 어렵다는 문제를 가지고 있다[16].

이러한 2차원적인 안면분석 방법들의 문제점들을 보완하기 위해 최근에는 3D cephalometry[17], laser scanning[6,18], digitizer[8,19], direct anthropometry[20], stereo-photogram-

metry[13,21,22], 3D computed tomography (CT) scan[11,23] 등 3차원적인 분석 방법들을 이용하여 안면부를 평가하려는 움직임이 활발하다.

이러한 3차원 분석 방법들은 악교정술의 술전 평가와 수술 계획, 술전 및 술후의 비교뿐만 아니라 악안면 기형 분야에서 성장 추적 관찰, 악안면 수술에서 술후 결과 예측 등 그 활용 분야가 점점 다양해지고 있다.

레이저 스캔은 안면 입체 영상을 이용하여 성장 평가, 수술 전후 비교를 위해 사용되고 있다[24,25]. 그러나 레이저 스캔은 긴 촬영 시간으로 인해 대상 환자의 움직임이나 연조직 특성으로 영상에 오차가 발생할 수 있으며, 획득된 영상의 표면 색감을 표현하지 못하는 단점이 있다[26]. 이 방법은 2개의 수직적 fanned out, low-power helium-Neon laser beams로 구성되는데, 전체 얼굴을 스캔하기 위해 환자는 컴퓨터 통제하에 있는 stepper motor에 의해 회전되는 의자에 앉아야 한다. 이 방법은 상호작용적인 3차원적 그래픽 기술과 함께 얼굴 수술의 시뮬레이션을 위해 개발되었으며, 악교정 수술 후에 연조직 변화를 기록하는 데 유용하다. 그러나 주된 단점은 환자 얼굴의 영상의 채득 시 13~15초 정도의 긴 시간이 소요된다는 점이다. 촬영 동안 환자 머리 전체 또는 일부 얼굴 근육의 변화가 획득된 영상을 왜곡시킬 수 있다. 또한 영상 획득 동안 환자 눈을 보호하기 위해 감겨 있어야 하고 이러한 점이 획득된 영상의 정확도에 약점이 되고 있다[26].

3D CT는 경조작과 연조직을 하나의 데이터베이스를 이용하여 동시에 관찰할 수 있다는 장점이 있어 널리 사용되고 있다. 그러나 이는 방사선 조사에 대한 위험성이 따를 뿐 아니라 브라켓이나 치과용 보철 등 금속에 의한 상의 왜곡이 발생하고, 연조직의 해상도가 좋지 않은 문제점이 있어 사용에 제한이 되고 있다.

직접 신체 측정법은 현재 임상에서 가장 쉽게 많이 사용되고 있는 3차원적 분석 방법으로서 버니어캘리퍼스와 같은 접촉식 기구를 이용하여 대상 환자의 안모에서 직접 계측이 이루어진다. 비교적 정확한 자료를 제공할 수 있으나 계측에 소요되는 시간이 길다는 단점이 있다. Allanson 등[27]은 협조적인 다운중후군 피험자의 21개의 안면 측정을 캘리퍼로 얻는 데 30분이 필요하다고 보고하였으며, 또 다른 연구에서는 성인 1명을 대상으로 150개 이상의 안면부 표준 인체 측정 평가항목을 자세히 측정하는 데 45~60분이 소요된다고 하였다[28]. 본 연구에서 임상에서는 가장 쉽게 사용할 수 있는 digital caliper 기구를 이용한 직접 신체 측정을 시행하였다. 한 마네킨에서 10개의 계측 항목을 측정하는 데 대략 15분 정도의 시간이 소요되었다. 실제 환자에서는 환자의 움직임을 감안할 때 계측시간이 더 소요될 것으로 생각된다.

Digitizer는 접촉식 기구를 이용하여 하나의 계측점에 대한 3차원적 좌표를 구하는 방식이다. 0.00001 단위까지 측정 가능하여 매우 정확한 자료를 제공하지만, 두 계측점에 대하여 하나의 측정 기구가 시간차를 두고 움직여서 측정하기 때문에 측정 대상

이 움직일 경우 오차가 발생할 수 있는 위험이 있으며, 계측에 소요되는 시간 또한 긴 편이다. Sforza 등[29]의 연구에서는 50개의 계측점에 대한 측정 시 1분 정도가 소요되었다고 하였다. 본 연구에서 한 개의 마네킨에서 10개의 거리 측정을 위한 20개의 좌표를 구하는 데 10분 정도의 시간이 소요되었으며 두 개의 점 사이에는 평균 3초의 시간차가 있었다. 여러 개의 관절부를 가지고 있는 펜 모양의 센서를 사용하기 때문에 digital caliper 사용에 비해 기구조작이 용이하여 실제로 마네킨 하나당 소요되는 시간이 더 짧았다. 실제 환자에 적용할 경우, 환자의 움직임이나 표정 변화로 인해 오차가 발생할 가능성이 많아 문제가 되고 있다.

스테레오 카메라는 두 개 이상의 렌즈를 이용하여 각각의 이미지를 채득하고 재구성하여 3차원적 이미지를 생성한다. 이것은 사람이 두 눈을 사용하여 3차원적으로 사물을 보는 것을 재현한 것으로 양안시차효과의 원리를 사용한다. 즉, 사람에서 좌우의 눈이 각각 서로 다른 2차원 화상을 융합하여 3차원 입체 영상의 입체감, 깊이감, 실재감을 재생하며, 이를 두 개 이상의 카메라 렌즈를 이용하여 재현하는 방법이다[30]. 본 연구에서 4개의 카메라 렌즈를 이용하여 영상을 채득하였다. 스테레오 카메라는 최근 완벽한 질감의 영상채득을 위해 도입되었고, 임상적으로 임상적으로 쉽게 사용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다[13,31]. 스테레오 카메라를 사용한 안면부 계측의 경우 사진 촬영 시 1초 이내의 시간 동안 순간적으로 영상을 채득할 수 있고, 고해상도의 컬러 표면 포착이 가능하다. 3차원 역설계 소프트웨어 프로그램을 사용하여 여러 방향으로의 회전이 가능하며 일련의 측정 도구들로 거리와 부피를 측정할 수 있고, 한 번 채득한 영상을 반복적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서 digital caliper를 이용한 직접 마네킨 측정법과 3차원 digitizer를 이용한 직접 마네킨 측정법 및 3차원 스테레오 카메라를 이용한 3차원 안면분석법에 대한 정확도와 재현성을 비교하였다. 각 계측방법의 정확도를 평가하기 위해 ANOVA를 이용하여 분석한 후 사후분석으로서 Bonferroni 다중 비교를 실시하였다. ANOVA 분석을 시행한 결과 3가지 측정 방법에 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. Bonferroni 다중비교를 실시한 결과 3가지 측정방법 모두 유의한 차이를 보이지 않았으나, effect size에서는 digitizer와 digital caliper를 이용한 직접 신체측정법 사이에는 차이가 거의 없는 반면에, Di3D를 이용한 방법과 digitizer 또는 digital caliper를 이용한 직접 신체측정법 사이에는 차이를 보였다. 즉, Di3D를 이용한 방법은 digitizer와 digital caliper를 이용한 방법과 비교 시 통계적으로는 유의하지 않았지만,  $EX_{Rt}-EX_{Lt}$ ,  $EN_{Rt}-EN_{Lt}$ ,  $Ala_{Rt}-Ala_{Lt}$ ,  $Ch_{Rt}-Ch_{Lt}$ ,  $G-Pg'$ ,  $Ala_{Rt}-Prn$ 에서 중등도(0.5 이상)의 차이가 나타났으며, 특히  $Ala_{Rt}-Prn$ 는 큰 차이를 보였다. 이는 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않지만, 실제적으로는 어느 정도의 차이를 가진다

는 것을 의미한다.

2002년 Meintjes 등<sup>[12]</sup>은 두 개의 카메라를 이용한 스테레오 카메라로 채득한 3차원 영상을 직접 신체 계측과 비교하여 0.1 mm에서 6.9 mm 범위의 오차를 보고한 바 있다. 이후 다양한 종류의 스테레오 카메라가 개발되었다. Winder 등<sup>[16]</sup>은 Di3D 시스템을 이용한 계측방법이 직접 신체 계측에 비해 평균 0.6 mm의 오차를 나타냈다고 하였다. Khambay 등<sup>[15]</sup>은 Di3D 시스템에 대한 연구에서 digitizer의 경우 평균 0.10 mm의 계측 오차를 가지고 있는 반면에 Di3D 시스템 자체의 오차는 0.2 mm 이내로서 신뢰할 만한 정확도를 보인다고 하였다. 본 연구에서 digitizer와 digital caliper 방법과 비교 시 0.11 mm (range, 0.01~0.32 mm)의 오차값을 보인 반면, digitizer와 Di3D를 비교하였을 때는 0.99 mm (range, 0.2~2.82 mm)의 상대적으로 높은 오차값을 나타냈다. 특히 Di3D를 이용한 경우에 안면부의 넓이를 나타내는 계측치 중에서  $En_{Rr}-En_{Lr}$  1.32 mm,  $Ala_{Rr}-Ala_{Lr}$  1.39 mm,  $Ch_{Rr}-Ch_{Lr}$  1.59mm의 오차를 나타냈으며, 깊이를 나타내는 계측치 중에서  $Ala_{Rr}-Pm$  2.86 mm로 큰 오차를 나타냈다. 이는 이전의 연구<sup>[12-14]</sup>에 비해 큰 오차값을 나타내는데 이는 4개의 카메라로부터 촬영된 영상이 안면의 중앙선 부위에서 3차원 영상으로 조합되면서 발생하는 문제일 것으로 생각된다.

스테레오 카메라의 Di3D를 이용한 3차원 계측 방법의 재현성에 대하여 Winder 등<sup>[16]</sup>은 Di3D를 이용한 3차원 계측의 경우에서 반복 촬영한 영상의 중첩 시 안면의 중앙선과 돌출부를 따라 재현성이 감소되며, 최대 1.06 mm까지 오차가 발생하였다고 하였다. 본 연구에서 각 계측 방법의 재현성을 평가하기 위해 각 계측법으로 측정된 동일 계측항목에 대하여 1주 간격으로 2회 반복 측정 후 Dahberg식을 이용하여 계측 오차 값을 구하고, 급내상관분석을 시행하였다. 반복 측정에 따른 계측 오차에서는 digital caliper를 이용한 계측한 경우에 오차 값이 0.17 mm (range, 0.09~0.23 mm), digitizer를 이용한 경우에는 0.30 mm (range, 0.11~1.47 mm)였으나, Di3D를 이용한 3차원 영상에서는 0.98 mm (range, 0.27~2.85 mm)로 상대적으로 높은 오차를 보였다. 급내상관분석 결과에서 digital caliper를 이용한 경우 ICC 값이 1.00, digitizer는 0.99로 매우 높은 재현성을 보인 반면에, Di3D를 이용한 3차원 영상의 경우 0.90으로 약간 낮은 재현성을 나타냈으나 계측방법에 따른 통계적인 유의한 차이는 없었다. Di3D를 이용한 3차원 영상에서 내측 눈꼬리 사이 ( $En_{Rr}-En_{Lr}$ )의 ICC 값이 0.71, 우측 코 날개부위와 코 끝 부위 ( $Ala_{Rr}-Pm$ )의 ICC 값이 0.49로 나와 낮은 재현성을 보였다.

Di3D 시스템은 4개의 카메라가 시스템의 본체에 불완전하게 연결되고, 나사를 풀어 각각의 카메라가 이동이 가능하도록 되어 있다. 따라서 매 촬영 시 미세한 calibration 과정이 필요하게 되어 촬영 전 소요되는 시간이 길고, 술자의 숙련도에도 크게 영향을 받는다. 이로 인해 이번 연구에서는 기존의 연구들에 비해

큰 오차를 보인 것으로 생각하며, 숙련도 차이에 대한 연구가 추후 필요할 것으로 생각한다.

정확도와 재현성에 대한 이번 연구에서, 오차의 발생이 비록 통계적으로 유의한 수준은 아니었으나, digitizer와 digital caliper를 이용한 실측치에 비해 아직 부족한 신뢰도를 보였다. 실제 임상에 적용할 경우, 미세한 움직임으로 인하여 환자의 두부가 원하는 위치에서 벗어날 수 있어 오차가 발생할 수 있으며, 인체는 마네킨과 표면 특성이 다르기 때문에 실제 인체를 대상으로 한 연구가 추후 시행되어야 하며, 정확한 두부의 위치를 위한 해결책이 필요하다고 생각한다.

## 결론

본 연구는 스테레오 카메라의 Di3D 시스템의 정확도와 재현성에 대해 digital caliper와 digitizer를 이용한 직접 인체측정법과 비교 평가해보고자 시행하였다. 서로 다른 크기와 형태의 두부 마네킨 7개를 대상으로 안면부에 15개의 기준점을 표시한 후 digitizer와 digital caliper를 이용하여 실제 마네킨 상에서 두 점간의 거리를 계측 및 계산하였으며, Di3D를 사용하여 획득한 안면 입체영상에서 두 점 간의 거리를 계측하였다. 재현성 평가를 위해 1주일 간격으로 2회 반복하였고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 각 계측 방법의 정확도를 알아보기 위해 ANOVA 분석을 시행한 결과 3가지 측정방법에 통계적으로 유의한 차이는 없었으나, Bonferroni 다중비교를 실시한 결과 effect size에서 digitizer와 digital caliper를 이용한 직접 신체측정법 사이에는 차이가 거의 없는 반면에, Di3D를 이용한 방법은 digitizer와 digital caliper를 이용한 방법과 비교 시 외측 눈꼬리 간 거리, 내측 눈꼬리 간 거리, 양측 코날개 간 거리, 양측 입꼬리 간 거리, 미간과 턱끝 간 거리, 코날개와 코끝 간 거리에서 차이가 있었다.

2. 각 계측 방법의 재현성을 평가하기 위해 시행한 반복 측정에 따른 계측 평균 오차 값은 digital caliper (0.17 mm)와 digitizer (0.30 mm)에 비해 Di3D (0.98 mm)에서 상대적으로 높았다. 급내상관분석을 시행한 결과 3가지 측정방법에서 통계적으로 유의한 정도는 아니었으나 Di3D를 이용한 경우가 digital caliper와 digitizer를 이용한 경우에 약간 낮은 재현성을 나타냈다.

이상의 결과에서 스테레오 카메라의 Di3D 시스템의 정확도와 재현성을 향상하기 위한 보완이 필요할 것임을 시사한다.

## References

1. Weinberg SM, Naidoo S, Govier DP, Martin RA, Kane AA, Marazita ML. Anthropometric precision and accuracy of digital three-dimensional photogrammetry: comparing the Genex and 3dMD imaging systems with one another and with direct anthropometry. *J Craniofac Surg* 2006;17:477-83.
2. Burstone CJ, James RB, Legan H, Murphy GA, Norton LA.



- Cephalometrics for orthognathic surgery. *J Oral Surg* 1978;36:269-77.
3. Uysal T, Yagci A, Basciftci FA, Sisman Y. Standards of soft tissue Arnett analysis for surgical planning in Turkish adults. *Eur J Orthod* 2009;31:449-56.
  4. Soncul M, Bamber MA. Evaluation of facial soft tissue changes with optical surface scan after surgical correction of Class III deformities. *J Oral Maxillofac Surg* 2004;62:1331-40.
  5. Incrapera AK, Kau CH, English JD, McGrory K, Sarver DM. Soft tissue images from cephalograms compared with those from a 3D surface acquisition system. *Angle Orthod* 2010; 80:58-64.
  6. Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH, Santoro F. Three-dimensional facial morphometric assessment of soft tissue changes after orthognathic surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1999;88:549-56.
  7. Sforza C, Peretta R, Grandi G, Ferronato G, Ferrario VF. Soft tissue facial volumes and shape in skeletal Class III patients before and after orthognathic surgery treatment. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2007;60:130-8.
  8. Kau CH, Cronin A, Durning P, Zhurov AI, Sandham A, Richmond S. A new method for the 3D measurement of postoperative swelling following orthognathic surgery. *Orthod Craniofac Res* 2006;9:31-7.
  9. Kau CH, Cronin AJ, Richmond S. A three-dimensional evaluation of postoperative swelling following orthognathic surgery at 6 months. *Plast Reconstr Surg* 2007;119:2192-9.
  10. Downie J, Mao Z, Rachel Lo, et al. A double-blind, clinical evaluation of facial augmentation treatments: a comparison of PRI 1, PRI 2, Zyplast and Perlane. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2009;62:1636-43.
  11. Maeda M, Katsumata A, Ariji Y, et al. 3D-CT evaluation of facial asymmetry in patients with maxillofacial deformities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 102:382-90.
  12. Meintjes EM, Douglas TS, Martinez F, et al. A stereo-photogrammetric method to measure the facial dysmorphology of children in the diagnosis of fetal alcohol syndrome. *Med Eng Phys* 2002;24:683-9.
  13. Zeller M, editor. *Textbook of stereophotogrammetry*. Zurich: L Miskin; 1952.
  14. Weinberg SM, Kolar JC. Three-dimensional surface imaging: limitations and considerations from the anthropometric perspective. *J Craniofac Surg* 2005;16:847-51.
  15. Khambay B, Nair N, Bell A, Miller J, Bowman A, Ayoub AF. Validation and reproducibility of a high-resolution three-dimensional facial imaging system. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2008;46:27-32.
  16. Winder RJ, Darvann TA, McKnight W, Magee JD, Ramsay-Baggs P. Technical validation of the Dj3D stereophotogrammetry surface imaging system. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2008;46:33-7.
  17. Shaner DJ, Bamforth JS, Peterson AE, Beattie OB. Technical note: different techniques, different results--a comparison of photogrammetric and caliper-derived measurements. *Am J Phys Anthropol* 1998;106:547-52.
  18. Lee SH, Mori Y, Minami K, Lee GH, Kwon TG. Development of three dimensional measuring program with frontal and lateral cephalometric radiographs: Part 2. 3-D visualization and measurement program for maxillofacial structure. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2001;27:321-9.
  19. Hoffmann J, Westendorff C, Leitner C, Bartz D, Reinert S. Validation of 3D-laser surface registration for image-guided cranio-maxillofacial surgery. *J Craniomaxillofac Surg* 2005;33:13-8.
  20. Sforza C, Peretta R, Grandi G, Ferronato G, Ferrario VF. Three-dimensional facial morphometry in skeletal Class III patients. A non-invasive study of soft-tissue changes before and after orthognathic surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2007;45:138-44.
  21. Rabey G, editor. *Morphanalysis*. London: Hatch, Pinner and Co. Ltd; 1968.
  22. Ghoddousi H, Edler R, Haers P, Wertheim D, Greenhill D. Comparison of three methods of facial measurement. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007;36:250-8.
  23. Ras F, Habets LL, van Ginkel FC, Prahl-Andersen B. Quantification of facial morphology using stereophotogrammetry--demonstration of a new concept. *J Dent* 1996;24:369-74.
  24. Cho BO, Lee YC, Kim TY, Yang YS. Clinical study of 3-dimensional computed tomography in oral and maxillo-facial field. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 1990;16:33-41.
  25. Kau CH, Zhurov A, Bibb R, Hunter L, Richmond S. The investigation of the changing facial appearance of identical twins employing a three-dimensional laser imaging system. *Orthod Craniofac Res* 2005;8:85-90.
  26. McCance AM, Moss JP, Wright WR, Linney AD, James DR. A three-dimensional soft tissue analysis of 16 skeletal class III patients following bimaxillary surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1992;30:221-32.
  27. Allanson JE, O'Hara P, Farkas LG, Nair RC. Anthropometric craniofacial pattern profiles in Down syndrome. *Am J Med Genet* 1993;47:748-52.
  28. Farkas LG, editor. *Anthropometry of the head and face*. 2nd ed. New York: Ravens Press; 1994.
  29. Sforza C, Dellavia C, Tartaglia GM, Ferrario VF. Morphometry of the ear in Down's syndrome subjects. A three-dimensional computerized assessment. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2005;34:480-6.
  30. Kim JH. Representing the scientific methodology of stereoscopic image approach to the arts of moving image - concentrated on 3 dimensional stereoscopic and hologram. *Film Studies Assoc Korea* 2002;20:93-116.
  31. Ayoub AF, Siebert P, Moos KF, Wray D, Urquhart C, Niblett TB. A vision-based three-dimensional capture system for maxillofacial assessment and surgical planning. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1998;36:353-7.