J Korean Assoc Maxillofac Plast Reconstr Surg 2011;33(2):128-136

Original Article

치아 기준의 악교정 수술용 석고모형 수술, 과연 가능하고 정확한가

이승훈 · 오성섭[1] · 이충국[2] · 박경란[2] · 이상휘[3]

리더스치과의원, [1]21세기치과병원, [2]연세대학교 치과대학 구강악안면외과학교실,
[3]연세대학교 치과대학 구강악안면외과학교실, 구강과학연구소, 구강종양연구소

Abstract

Development of New Orthognathic Model Surgery Technique Based on the Reference Points onto the Teeth and the Use of Occlusal Index

Seung-Hoon Lee, Seong Seob Oh[1], Choong-Kook Yi[2], Kyung-Ran Park[2], Sang-Hwy Lee[3]

Leader's Dental Clinic, [1]21st Century Dental Clinic, [2]Department of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Yonsei University, [3]Department of Oral and Maxillofacial Surgery and Applied Life Science, Oral Science Research Center, Oral Cancer Research Institute, Brain Korea 21 Project, College of Dentistry, Yonsei University

Purpose: Errors in orthognathic model surgery occur during the planning, measuring and/or moving of the models. However, there has been little effort to find ways to reduce these errors. In this study, we introduce a new orthognathic model surgery technique (Yonsei method) which adopts the tooth point as the reference and the occlusal index as a moving vehicle for the model.

Methods: The technique consists mainly of: 1) measuring the three-dimensional lengths of model points, 2) fabricating and moving the occlusal index and 3) verifying the movement. Then we compared the accuracy of the Yonsei method to conventional methods, with special reference made to influencing factors.

Results: Errors for the Yonsei method with the occlusal index were reduced to the range of 0.61～1.04 mm in three-dimension, providing a more accurate model surgery technique than conventional methods which have errors ranging from 0.77～3.11 mm.

Conclusion: It provided us a more accurate model surgery technique based on the reference points onto the teeth and the use of occlusal index.

Key words: Model surgery, Errors, Occlusal index, Tooth point reference, Orthognathic surgery

원고 접수일 2010년 12월 27일, 게재 확정일 2011년 2월 24일

RECEIVED December 27, 2010, ACCEPTED February 24, 2011

책임저자 이상휘
(120-752) 서울시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 치과대학 구강악안면외과학교실
Tel: 02-2228-3136, Fax: 02-364-0992, E-mail: sanghwy@yuhs.ac

Correspondence to Sang-Hwy Lee
Department of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Yonsei University
134, Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea
Tel: 82-2-2228-3136, Fax: 82-2-364-0992, E-mail: sanghwy@yuhs.ac

ⓒ 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.

서 론

악안면 기형 환자의 이상적 치료는 원인에 기초한 술전 진단의 정확성, 정밀한 악교정 수술, 그리고 기능 회복과 재발 방지를 통한 정상 기능-심미의 재건에 의해 이루어진다. 특히 수술 전 진단은 기형의 원인 부위을 판단하고, 이를 정상화시키는 계획을 세운다는 점에서 중요하다. 그리고 수술은 골의 직접적인 변화를 통해 치료 효과를 이끌어내는 필수 과정이다. 이러한 술 전 진단과 수술의 중간 과정에서 시행하는 석고모형 수술(model surgery)은 진단과 수술에 모두 영향을 미칠 수 있다.

석고모형 수술은 교합기에 올려진 석고모형을 수술 계획에 따라 움직이는 것으로 대개 상악 모형에 행해진다. 이 모형 수술은 2차원적인 두부 계측 방사선 사진 자료를 3차원적으로 확인할 수 있게 해준다. 또 석고모형 수술을 통해서 악골의 이동량과 방향, 골절단의 위치와 형태를 예측하고, 예상되는 술 후 교합을 확인하며, 수술을 위한 웨이퍼(surgical wafer)를 제작할 수 있다[1]. 그래서 상악골과 하악골 모두를 수술하는 소위 양악 수술의 경우 여기에서 만들어지는 중간 웨이퍼를 통해 상악의 위치 설정에 결정적 영향을 미친다.

이상적인 석고모형 수술은 0.1 mm의 오차도 없이 상악골 모형을 계획한 위치로 이동시키는 것이다. 그러나 우리가 현재 행하고 있는 고전적인 석고모형 수술은 기본적으로 석고모형에 기준선을 긋고 이를 기준으로 계측하고 이동시키기 때문에 과정이 복잡하며 많은 시간이 소요되고 측정 오차가 심한[2,3] 단점을 가지고 있다. 부정확하게 시행된 석고모형 수술에 의해 만들어진 웨이퍼는 수술시 상악골과 하악골을 부정확하게 이동시키는 도구가 되고, 결국 안모 비대칭 등의 심미적, 기능적 문제를 일으킬 수 있다[2].

일반적으로 2차원 측모 두부 계측 방사선 사진(측두 사진)에서 만들어진 치료 계획은 상악골의 2차원적인 이동 방향과 양을 결정해 주지만 이것을 3차원 계획으로 바로 변환하여 석고모형 수술을 수행하기는 어렵다[4]. 그 이유 중 하나는 일반적으로 측두사진에서 계획을 세울 때 골 절단선, anterior nasal spine, A 점 등 석고모형에서 바로 지정할 수 있는 기준점을 사용하지 않고 있기 때문이다. 또다른 이유는 측두사진에서 세운 2차원 평면의 수술 계획은 실제 환자에서의 3차원 계획으로 바꾸어서 실행되어야 하기 때문이다.

그 외에도 상악 구치부 치아의 위치는 측두 사진에서 중첩되거나 부정확한 영상에 의해 가려지기 때문에 정확한 위치를 얻기 어려운 문제가 있다. 그래서 측두사진에서의 치아 위치를 기준으로 이용하지 않고 실제 수술 시의 골절단선을 가상한 석고모형 절단선을 기준으로 이용하기도 하지만 앞에서 언급한 두 기준의 정확한 일치 어려움때문에 기준으로 삼기에 힘들다[5]. 또 교합기에 붙어 있는 상악 석고모형은 중력에 의해 밑으로 떨어지는 성질이 있어 모형 조작이 쉽지 않다[2]. 따라서 석고모형 수술 자체에서도, 또 수술-석고모형 사이의 차이에 의해서도 오차는 발생할 수 있으며, 이들은 수술 계획과 실제 결과 사이의 복잡한 오차가 될 수 있다. 따라서 이렇게 많은 오차 요인을 가지고 있으면서 수술 결과에 영향을 미칠 수 있기 때문에 석고모형 수술은 악교정 수술 분야에서 소홀히 해서는 안된다고 할 수 있다.

최근에는 공학적 기술의 접목으로 CAD/CAM 기술을 이용한 디지털 웨이퍼와 이를 가공한 rapid protyped wafer가 상용화되고 있지만[3,6], 아직도 고전적인 석고모형 수술 방법이 일반적으로 널리 이용되고 있는 것이 현실이다. 저자도 이미 디지털 웨이퍼를 소프트웨어상에서 제작하고 이를 rapid prototyping하여 웨이퍼를 만들 수 있는 기술을 정립하고 상용화하여 모든 환자에서 적용하고 있을 뿐 아니라 그 오차를 검증하여 발표하였다[6].

그렇지만 석고모형 수술 과정에서 정확성을 높이고 오차를 줄이기 위한 방법에 대하여는 우리 모두 아직 충분히 알지 못하고 있다. 예를 들어 우리가 이용할 수 있는 정보들은 Nattestad와 Vedtoft[5]는 석고모형 수술과 실제 수술시의 상이한 기준선에 의한 오차 가능성을, Ellis[2]는 기존 기준선 등을 이용한 석고모형 수술시의 오차 발생과 이를 방지하기 위한 새로운 계측 방법을, Erickson 등[7]은 Erickson model surgery platform의 사용을 주장하여 오차를 줄이기 위한 기술적 방법을 제시한데서 얻을 수 있다. 또 Peretta와 Caruso[8]의 석고모형 수술 시 acrylic spacer를 사용하는 방법과 Anwar와 Harris[9]의 model sugery 정확성을 높이기 위한 제시 방법 등이 현재 모형 수술 방법의 개선에서 참고해야 할 중요 연구라고 할 수 있다. 따라서 상악 model을 쉽고 정확하게 움직일 수 있으면서도 정확한 기준을 이용하는 방법에 관한 연구가 필요하다고 생각된다.

이미 저자는 석고모형 수술의 정확성 및 신뢰성에 중요한 측정 도구의 정확성을 검증한 연구 결과를 보고한 바 있으며[3] 이를 통해 석고모형 수술의 정확성을 높일 수 있는 방법에 관한 기초 정보를 얻을 수 있었다. 또 저자는 임상에서 치아를 기준으로 석고모형 수술을 시행하면서 이 방법이 가능하고 정확하며 간편하다는 사실을 경험적으로 확인할 수 있었다. 그래서 본 연구에서는 이러한 결과들을 바탕으로 치아 기준점을 이용한 석고모형 수술 방법을 정리하고, 이 방법에 의한 모형 수술이 간편하고 신뢰할 수 있는지 확인하려고 한다. 따라서 석고모형 수술의 기준점을 치아에만 한정시키고 임상에서 발생 가능한 상악골의 다양한 이동 패턴을 적용시켜 이 때의 상악 이동의 정확성이 어떤지 정량적으로 검증하였다. 이를 통해서 과연 치아에 위치한 기준점만을 이용한 석고모형 수술 방법이 적절하고 적용 가능한지 평가하여 여기에 보고한다.

연구방법

1. 새로운 석고모형 수술 방법의 고안

상악 전치의 수직 높이는 진단 시 심미적, 기능적 기준으로 사용되므로, 이 상악 전치의 위치를 기준으로 모형을 이동하고 측정하는 방법이 이상적일 것으로 생각할 수 있다. Ellis와 Callo[10], Ellis[2]과 Stanchina 등[11]은 가상 골절단선 근처에서 측정과 이동을 하는 것이 실제 치아나 수술 골절단선에서와 차이가 있어 부정확하다고 지적한 바 있다. 그러므로 이 연구에서는 석고 모형의 치아에 기준점을 두고 이 부분을 직접 움직여서 상악의 움직임을 제어할 수 있도록 하였다.

이를 위해서 반조절성 교합기(Hanau modular articulator, Teledyne Hanau co., Buffalo, NY, USA)에 고정시킬 수 있는 remounting zig (Teledyne Hanau co., Buffalo, NY, USA)와 조작이 용이한 인상재인 vinyl polysiloxane (putty type, GC america co., Alsip, IL, USA)을 사용하였다. 이 remounting zig는 교합기의 기준 평면인 model Frankfurt plane에 평행하며 3단계로 높이가 조절 가능하도록 제작되어 있었다. 그리고 vinyl polysiloxane 인상재는 24시간 후의 변형률이 0.2% 이하로 변형의 가능성이 극히 낮으면서 조작이 간편한 장점을 가지고 있다.

우선 face-bow (Earpiece type, Teledyne Hanau co., Buffalo, NY, USA)를 이용하여 석고 모형을 반조절성 교합기 (Hanau modular articulator, Teledyne Hanau co., Buffalo,

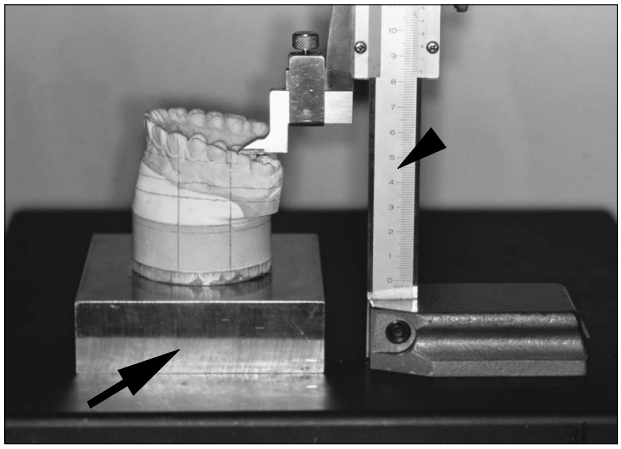

Fig. 1. Measurement of dental points on a model block. Measurement of vertical length (Y axis) of cusp tips of first & second molar, canine, and central incisor as well as that of anterior-posterior (Z axis) and medial-lateral length (X axis) with height gauge (arrow for model block; arrowhead for height gauge).

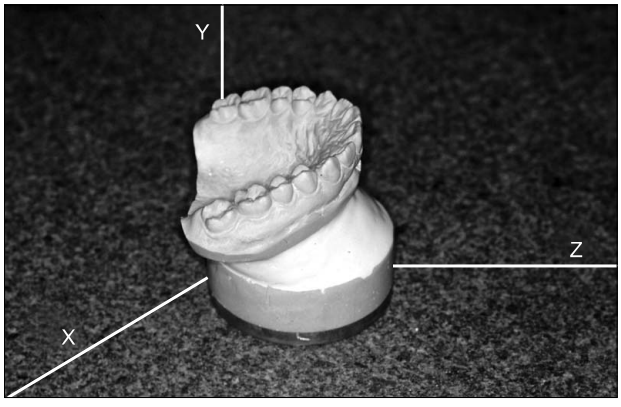

Fig. 2. Designations of axes and planes for measurements. Axial plane, designated as XZ plane, includes Z-axis (anterior-posterior length) and X-axis (medial-lateral length). Y-axis represents vertical height perpendicular to XZ plane. Each anterior-posterior, medial-lateral, and vertical lengths of dental points were measured on X-, Y-, and Z-axis.

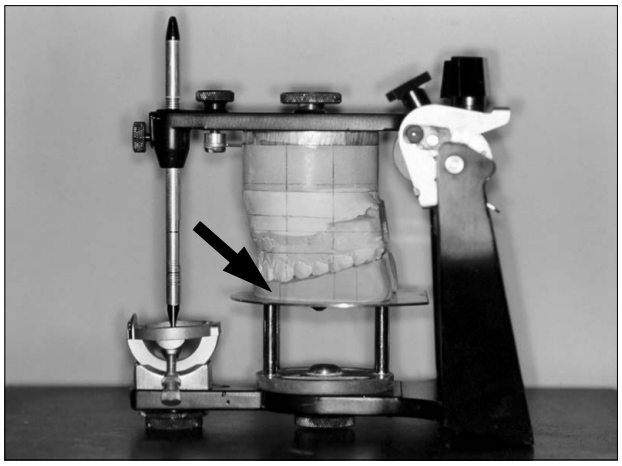

Fig. 3. Occlusal index. Fabrication of occlusal index on height-adjustable remounting zig with vinyl polysiloxane (arrow for occlusal index).

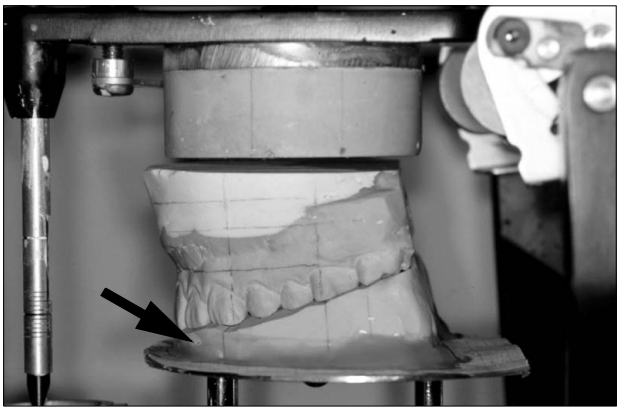

Fig. 4. Model on occlusal index. After moving the occlusal index to the planned position, the maxillary model was placed onto the occlusal index (arrow for occlusal index).

NY, USA)에 고정시키고, 하방의 remounting zig상에 올려진 polysiloxane 반죽을 이용하여 상악의 교합 및 위치를 인기해 냈다(Fig. 1). 이것이 바로 occlusal index가 되고 이때 석고모형의 치아(중절치, 견치, 제1,2 대구치)상의 기준점은 occlusal index에 쉽게 옮겨졌다.

석고 모형을 측정용으로 제작된 모형 블록[3]에 고정시켜 석정반(0.01 mm의 오차 수준, 유니텍 정밀, 시흥, 한국)상에서 height gauge (0.02 mm의 오류 수준, Mitutoyo co., Tokyo, Japan)로 기준 치아 기준점의 전후방 길이(Z축), 측방 길이(X축), 수직 높이(Y축)를 각각 측정하고 기록하였다(Fig. 2). 자세한 측정 방법이나 기준 평면 등의 정보는 저자의 논문[3]에 기술되어 참고할 수 있다.

모형 수술을 위해서 석고 모형 대신 occlusal index를 계획된 방향으로 움직였다. 원하는 방향으로의 이동이 완료되면 index를 remounting zig에 고정시켰다. 상악 모형을 교합기에서 분리시키고 occlusal index에 고정시킨 다음 이동된 위치에서 다시 베이스에 고정시켰다(Fig. 3).

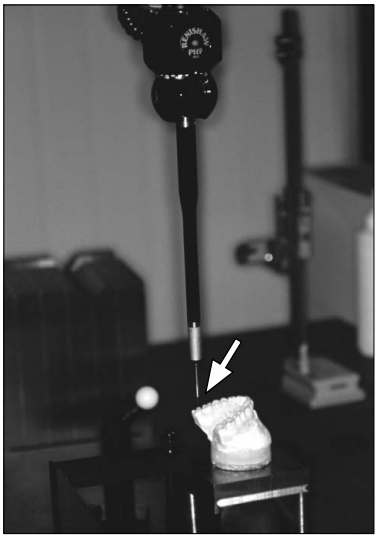

Fig. 5. Measuring dental points with three-dimensional coordinate analyzer for the verificaiton. Anterior-posterior (Z-axis), medial-lateral (X-axis), and vertical (Y-axis) lengths of cusp tips of second and first molars, canine, and central incisor of both sides of maxillary model were measured with three-dimensional coordinate analyzer (arrow for the measurement tip of three-dimensional coordinate analyzer).

상악 석고 모형을 다시 모델 블록에 고정시켜 기준점의 측방 길이(X), 수직 높이(Y), 전후방 길이(Z)를 height gauge로 다시 측정하고, 이전 측정치와 비교하여 계획한 대로 이동되었는지 확인하였다(Fig. 4).

2. 새로운 석고모형 수술 방법의 정확성에 대한 평가

새로운 석고모형 수술 방법을 확인하기 위해서 상악골 및 하악골을 동시에 수술해야 할 환자 10명에게서 상악의 인상을 채득한 뒤 석고모형을 제작하고 이를 복제하여 총 48개의 석고모형을 만든 뒤 face-bow를 이용하여 반조절성 교합기에 각각 mounting하였다. 측정 시 기준점이 위치할 중절치, 견치, 제2대구치 결손은 전혀 없는 상태였으며, 절단면의 중심 혹은 근심 협측 교두상에 기준점을 정하고 이를 지나는 수직기준선과 model Frankfurt plane에 평행하는 수평 기준선을 각각 그려 석고모형 수술 시에 참고할 수 있도록 하였다. 또 실험에 참여하여 석고모형 수술을 시행한 사람들, 즉 시술자(operator)는 모두 치과의사였고 본 실험의 의도를 잘 이해하고 있었으며 이 중 두 사람은 악안면 기형을 위한 석고모형 수술의 경험이 있었고 나머지 두사람은 전혀 경험이 없었다.

석고모형 수술 시의 오차를 객관적으로 확인하기 위해서는 0.001 mm의 오차 한계를 가지고 있고 가장 정확하고 객관적인 측정 장치라고 생각된 3차원 계측기(3-dimensional coordinate analyzer, VA 800A, Tokyo Semitsu co., Tokyo, Japan)를 기준 측정기로 사용하였다. 이미 언급한 석고 모형 48개의 기준 치아 6개(좌, 우측 중절치, 견치, 제 2 대구치)에 위치한 기준점에 대하여 3차원 계측기를 이용하여 3차원 좌표값, 즉 측방 길이(X) 수직 높이(Y) 전후방 길이(Z)를 측정하고 기록하였다(Fig. 5). 아울러 이 3차원 계측기가 가지고 있는 근본적인 측정 오차를 확인하기 위해서 하나의 석고 모형상의 상이한 3개점을 순차적으로 각각 30회씩 3차원 계측기로 측정하고, 아래와 같은 방법에 의해 방법 오차(method of error)[12]를 구하였다.

$$\text{method of error } E=\sqrt{\frac{\sum(x_n-x_{n-1})^2}{2(n-1)}}$$

(x_n: n번째 측정치, x_{n-1}: n-1번째 측정치, n: 측정 횟수)

Table 1. Factors for evaluation of accuracy of model surgery

Factor	Factor level	Description of factor level
Occlusal index	OI	To use Occlusal index
	nOI	Not to use Occlusal index
Measuring instrument	V	Vernier Caliper
	HG	Height Gauge
Movement of model	A	Advancement (3 mm)
	AIR	Advancement (3 mm)+Posterior Impaction (3 mm)+Rotational midline shift (3 mm)
Operator's experience	IE	Inexperienced
	E	Experienced

이 석고모형 수술 방법이 신뢰할 수 있는 것인지 확인하기 위해서 다음과 같은 여러 조건을 고려하였다(Table 1): 석고모형 움직임의 복잡성, 석고모형 수술을 수행하는 시술자의 숙련도, height gauge와 버어니어 캘리퍼스중 측정 방법의 선택, 그리고 occlusal index의 사용 여부. 그리고 이들 변수들이 다양하게 조합되어 석고모형 수술이 수행될 수 있도록 실험군을 나누었다(Table 2). 석고모형 수술의 숙련도와의 관련성을 점검하기 위해서 석고모형 수술 경험이 있던 시술자 두 사람을 숙련군, 그리고 전혀 없었던 두 사람을 비숙련군으로 나누었다.

Table 2에서 occlusal index와 height gauge를 사용하였던 실험 13, 14, 15, 16군은 본 연구에서 새로이 개발된 석고모형 수술 방법을 사용했었던 실험군이었으며 index 없이 버어니어 캘리퍼스로 측정하고 석고모형을 움직인 실험 1, 2, 3, 4군은 고전적인 석고모형 수술 방법군에 해당되었다. 또 index는 사용하지 않으나 height gauge를 이용했던 실험 5, 6, 7, 8군은 Ellis[2]-Erickson 등[7]이 주장한 석고모형 수술 방법이라고 할 수 있었다.

Table 2. Groupings by different factors

Group	Index	Measure	Movement	Skill	N
Gp. 1	nOI	V	A	IE	3
Gp. 2	nOI	V	A	E	3
Gp. 3	nOI	V	AIR	IE	3
Gp. 4	nOI	V	AIR	E	3
Gp. 5	nOI	H	A	IE	3
Gp. 6	nOI	H	A	E	3
Gp. 7	nOI	H	AIR	IE	3
Gp. 8	nOI	H	AIR	E	3
Gp. 9	OI	V	A	IE	3
Gp. 10	OI	V	A	E	3
Gp. 11	OI	V	AIR	IE	3
Gp. 12	OI	V	AIR	E	3
Gp. 13	OI	H	A	IE	3
Gp. 14	OI	H	A	E	3
Gp. 15	OI	H	AIR	IE	3
Gp. 16	OI	H	AIR	E	3
Total					48

The abbreviations for different factors can be referred in Table 1.

석고모형 수술을 시행하기 전과 후에 앞에서 설명한 3차원 계측기를 이용하여 각 치아 기준점의 위치를 계측하였다. 그리고 석고모형 수술 전후의 기준점 위치값들 차이를 모형 예상 이동량과 비교하여 그 차이값인 석고모형 수술의 오차를 계산하였다. 여기에는 측방 길이(X), 수직 높이(Y), 전후방 길이(Z)의 3차원에서 개별 오차가 모두 포함된다. 그리고 이를 이용해 3차원 공간에서의 오차값도 함께 계산하였다(이 오차는 3차원 계측기로 측정한 석고모형 수술 전의 측정점(x, y, z)과 석고모형 수술 후의 측정점(x', y', z')의 3차원상 길이 차이인 $\sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+(z-z')^2}$ 의 관계에 의해 구해질 수 있다).

그리고 이들 결과는 통계패키지 statistical analysis system (SAS, version 8.1, SAS Institute Inc., NC, USA)의 분산분석(analysis of variance) 절차와 다변량 분산분석(multivariate analysis of variance) 절차를 이용하여 오차의 정도를 확인하고 이들과 관련된 인자들의 주효과 및 교호 작용 효과(interaction effect)의 통계적 유의성을 확인하였다.

결 과

각 실험군에서 석고모형 수술의 오차는 0.15 mm에서 2.94 mm까지 다양하게 나타났으며, 그 결과는 Table 3에 정리하였다. 이 중 전후방길이(X) 항목은 실험 제3군(nOI, V, AIR, IE)과

Table 3. Errors in groups by different factors

Group (N)	Factor level				Error (mm)			
					X	Y	Z	3D*
1 (3)	nOI	V	A	IE	0.84[b]	1.07[b]	0.63[b]	1.67[b]
2 (3)	nOI	V	A	E	0.65[a]	0.23	0.15	0.77[b]
3 (3)	nOI	V	AIR	IE	2.24[b]	0.38[b]	0.60[b]	2.53[b]
4 (3)	nOI	V	AIR	E	0.62[a]	0.43[b]	0.46[b]	1.00[b]
5 (3)	nOI	HG	A	IE	1.08[b]	0.78[b]	0.40[b]	1.63[b]
6 (3)	nOI	HG	A	E	0.50	0.32	0.44[b]	0.84[a]
7 (3)	nOI	HG	AIR	IE	2.94[b]	0.53[b]	0.64[b]	3.11[b]
8 (3)	nOI	HG	AIR	E	1.01[b]	0.45[b]	0.35[b]	1.29[b]
9 (3)	OI	V	A	IE	0.42	0.67[b]	0.25	0.87[a]
10 (3)	OI	V	A	E	0.44[a]	0.27[a]	0.23[b]	0.63[b]
11 (3)	OI	V	AIR	IE	0.36	0.20	0.32[b]	0.56[b]
12 (3)	OI	V	AIR	E	0.15	0.10	0.34[a]	0.43
13 (3)	OI	HG	A	IE	0.41	0.22[a]	0.33[b]	0.68[b]
14 (3)	OI	HG	A	E	0.43	0.23	0.24[a]	0.61[a]
15 (3)	OI	HG	AIR	IE	0.72[b]	0.55[b]	0.32[b]	1.04[b]
16 (3)	OI	HG	AIR	E	0.32	0.55[b]	0.15	0.72[b]
Total(48)								

[a]$P<0.05$, [b]$P<0.01$.
*3D means three-dimensional error during model surgery.

Table 4. Main and interaction effects of factors to errors of model surgeries

Factors	Impact power (Sum of Square)	*P*
OIndex	43.30	0.00
MInst.	3.94	0.00
Move.	4.93	0.00
Experi.	19.30	0.00
MInst. × OIndex	0.52	0.30
MInst. × Experi.	0.57	0.28
MInst. × Move.	2.94	0.01
OIndex × Experi.	14.26	0.00
OIndex × Move.	6.26	0.00
Experi. × Move.	2.01	0.04
MInst. × OIndex × Experi.	0.12	0.62
MInst. × OIndex × Move.	0.00	0.93
OIndex × Experi. × Move	1.08	0.14
MInst. × Experi. × Move.	0.30	0.43
MInst. × OIndex × Experi. × Move.	0.00	0.97

Sum of Squares, sum of squares of three dimensional error occured during model surgery and it represent the degree of influences or impact power of each factor to the generation of errors; OIndex, Occlusal Index; MInst., Measuring Instrument; Move., Movement of model; Experi., Experience.

제7군(nOI, HG, AIR, IE)의 오차가 가장 유의성 있게 커서 평균값이 각각 2.2 mm와 2.9 mm였다. 또 실험 제10군(OI, V, A, E), 제4군(nOI, V, AIR, E), 2군(nOI, V, A, E)에서 오차가 가장 유의성 있게 작아서 각각 0.44 mm, 0.62 mm, 0.65 mm를 나타냈다.

또 수직 높이(Y)에서는 실험 제1군(nOI, V, A, IE)과 제5군(nOI, HG, A, IE)의 오차가 각각 1.07 mm와 0.78 mm로 가장 유의성 있게 컸고, 실험 13군(OI, HG, A, IE), 제10군(OI, V, A, E)이 가장 작아서 0.22 mm와 0.27 mm의 오차를 보였다. 그리고 전후방 길이(Z)는 다른 길이 오차보다 작아서 실험 제7군(nOI, HG, AIR, IE)의 0.64 mm, 제1군(nOI, V, A, IE)의 0.63 mm, 제3군(nOI, V, AIR, IE)의 0.60 mm가 두드러졌고 실험 제10군(OI, V, A, E), 제14군(OI, HG, A, E)은 0.23 mm, 0.24 mm로 가장 작았다.

한편 이들 오차를 3차원 공간에서의 거리 차이로 계산되었던 3차원 오차에서는 2차원에서의 오차와 유사하게 실험 제7군(nOI, HG, AIR, IE)과 제 3군(nOI, V, AIR, IE)의 오차가 각각 3.11 mm와 2.53 mm로 가장 크게 나타났다. 반면 실험 11군(OI,

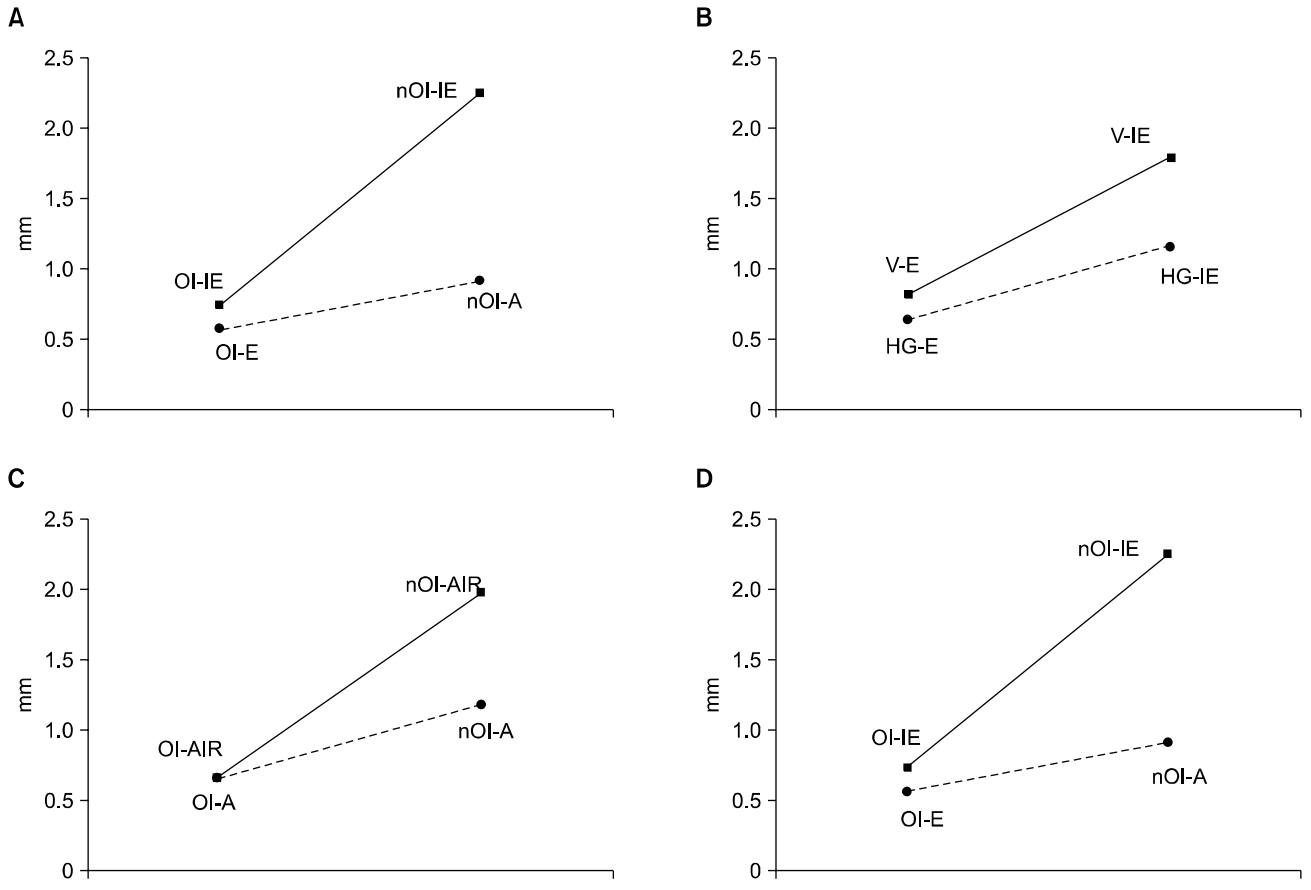

Fig. 6. Comparisons of mean errors of each factor. (A) To use occlusal index vs. experience of operator, (B) type of measuring instrument vs. experience of operator, (C) to use occlusal index vs. type of model movement, (D) type of measuring instrument vs. type of model movement (mm, $P<0.01$). OI, to use occlusal index; HG, to use height gauge; A, simple movement of model; E, experienced operator; nOI, no occlusal index; V, to use vernier caliper; AIR, complex movement of model; IE, inexperienced operator.

V, AIR, IE), 제14군(OI, HG, A, E), 제10군(OI, V, A, E)에서는 오차가 가장 유의성 있게 작아서 0.56 mm, 0.61 mm, 0.63 mm였다.

오차들에 영향을 미치는 각 인자들, 즉 occlusal index, 측정 도구의 종류, 석고모형 움직임의 복잡성, 석고모형 수술을 수행하는 시술자의 숙련도 항목을 주효과와 교호작용 효과의 크기 및 유의성을 알아보기 위해 실시한 분산 분석의 결과는 Table 4에 나타나 있다. 이에 따르면 오차에 대한 영향력을 나타내는 impact factor (즉, sum of squares)는 index가 43.30, 그리고 숙련도는 19.30으로 나타났고 측정 도구의 종류 항목은 가장 작아 3.94였다. 그리고 이들 관련 인자들의 주효과에 대한 유의성은 모두 0.00으로 나와 이들 결과가 유의성 있음을 입증하였다.

한편 각 인자간 교호 작용 시에는 3차(3인자가 동시에 작용했을 경우)와 4차(4인자가 모두 작용했을 경우) 교호작용 효과는 유의성이 없는 것으로 나타났다. 그러나 2차 교호작용 효과 중에서는 측정 도구의 종류와 index의 사용, 측정 도구의 종류와 숙련도가 동시에 작용한 경우를 제외한 나머지 2차 효과들은 모두 유의한 것으로 확인되었다. 이 중에서도 index의 사용과 석고모형 움직임의 종류가 오차 발생에 미치는 영향력이 가장 커서 14.26이었으며, 숙련도와 석고모형 움직임, 측정 도구의 종류와 석고모형 움직임의 경우 가장 작아 2.01과 2.94였다.

또 교호 작용 효과들에 대한 자세한 분석을 위해 서로 교호작용을 하고 있는 2개 인자들의 수준 조합에 대한 평균 오차를 구하고 비교하였다. 우선 index의 사용과 숙련도에 따른 석고모형 수술의 오차는 Fig. 6A에 표시하였다. Occlusal index를 사용한 경우가 그렇지 않은 경우보다 훨씬 오차가 적어서 숙련된 시술자의 경우 0.57 mm, 비숙련된 시술자의 경우 0.74 mm의 오차가 발생한 것으로 확인되었다. 반대로 index를 사용하지 않았을 경우 숙련군에서 0.92 mm, 비숙련군에서 2.25 mm의 오차를 나타냈고, 이들의 P 값은 모두 0.01 이하였다.

또 숙련도와 height gauge 사용의 관계를 보면, 숙련된 시술자들에서 오차 발생이 훨씬 작아 height gauge를 사용한 경우 0.71 mm, 사용하지 않은 경우 0.87 mm의 오차가 발생하였다. 그리고 덜 숙련된 시술자들에서는 이보다 오차가 더 커서 1.41, 1.62 mm의 오차가 있었다(Fig. 6B). Occlusal index의 사용과 석고모형의 움직임 종류에 따른 오차를 비교하였을 때도, index의 사용은 석고모형의 움직임과 상관없이 0.65 mm의 오차를 보였다. 그러나 index 없이 석고모형 수술을 수행한 경우에는 석고모형의 움직임이 간단하면 1.18 mm, 복잡하면 1.98 mm의 오차가 유의성 범위 내에서 발생하는 것으로 조사되었다(Fig. 6C). 마지막으로 측정 도구의 종류와 석고모형의 움직임 종류에 따른 석고모형 수술의 오차 발생을 비교했을 때는 height gauge를 사용하여 간단한 석고모형 움직임을 시행한 경우 0.9 mm, 복잡한 경우 1.53 mm의 오차가 있었다. 그리고 버어니어 캘리퍼스를 사용하면 간단한 움직임에서는 0.94 mm, 복잡한 움직임의 경우 1.72 mm의 오차가 발생하였다(Fig. 6D).

한편, 계측 기준으로 사용된 3차원 계측기의 측정 오차를 확인하기 위해 같은 3점을 반복 측정한 방법 오차(method of error)는 0.1028 mm였다. 따라서 앞으로 제시될 실험 결과 내에는 0.1 mm 정도의 오차가 항상 포함될 수 있다고 생각할 수 있었다.

고 찰

악교정 수술 시 상악골의 이동량이나 방향은 경우에 따라 다르지만 대개 수 mm 이내의 범위에 있다. 그리고 악골의 수 mm 이동은 하악각이나 이부에서 수 cm 범위의 변위를 초래하므로 악교정 수술 자체나 이를 위한 준비 과정 모두에서 고도의 정확성이 요구된다고 할 수 있다. 따라서 석고모형 수술도 마찬가지의 높은 정확성을 요구하며 이를 확보하기 위해서는 석고모형 수술 자체에 의한 오차와 석고모형 수술 전후의 준비 과정 혹은 기공 과정에서 발생하는 오차 모두를 막을 수 있도록 준비하여야 할 것이다.

현재까지 석고모형 수술과 관련된 오차 발생 및 예방에 관한 연구 중에는 석고모형 수술 전후의 준비 과정 혹은 기공 과정에 관한 논의가 있었다. Facebow transfer 및 상악 석고모형을 교합기에 mount하는 과정에서의 오차 발생에 대해서 Ellis[4]는 facebow transfer 시 측모 두부 계측 방사선 사진의 교합 평면과 교합기상의 석고모형 교합 평면이 일치하지 않아 오차가 발생할 수 있다고 하면서 이에 대한 예방법을 제시한 바 있었다. Omura 등[13]도 이와 유사한 주장을 한 바 있었으며, Nattestad 등[14]은 facebow transfer 시 하악골의 center of rotation이 잘못 기록되어 오차가 발생할 수 있다고 하였다. 또 석고모형 수술 결과를 실제 수술에서 적용시킬 때 오차가 발생할 수도 있다. Nattestad와 Vedtoft[5]는 석고모형 수술 시의 기준선 및 기준점이 수술 시에는 달라지기 때문에 오차가 발생한다고 하였고, Schwestka 등[15]은 석고모형 수술 시 사용한 전치 위치 측정 도구를 수술 시에도 사용하는 방법을 소개하였다.

일반적으로 석고모형 수술 방법은 고전적인 석고모형 수술 방법[1,16,17]과 이에 대한 변형[9,18,19]이 소개되었고 이 방법들이 일반적으로 사용되어 왔다. 또 Erickson 등[7]이 Erickson model platform을 이용하여 석고모형의 기준선, 기준점을 정확히 측정할 수 있다는 새로운 석고모형 수술방법을 주장하였고, Ellis[2]가 버어니어 캘리퍼스를 이용한 고전적 석고모형 수술의 부정확성을 Erickson model platform을 사용하여 검증하였다. 물론 최근에는 각종 의용 공학과 컴퓨터의 발달로 단순한 석고모형이 아닌 3차원 두개골 모형 제작을 통한 석고모형 수술도 수행할 수 있게 되었다[20]. 그러나 이들 방법의 발달이 석고모형 수술의 정확성 및 간편성을 높였거나 앞으로 그럴 것이라고 기대

할 수는 없다.

본 연구에서 사용된 occlusal index는 여러 가지 장점을 가지는데, 우선 쉽게 제작할 수 있고 물리적인 안정성이 충분하며 다양한 석고모형의 형태와 움직임을 포함해야 하는 요구에 잘 부합된다. 또 index는 model Frankfurt plane에 평행한 re-mounting zig상에서 움직이게 되므로 기존의 좁은 석고 절단면을 기준으로 하여야 하는 고전적인 방법에 비해 안정적인 움직임을 가질 수 있다. 더구나 치아에 있는 기준점과 치아 자체를 포함하는 index를 움직이기 때문에 치아의 움직임과 거의 동일한 석고모형 움직임을 확보할 수 있다.

치아를 기준으로 한 측정 및 이동과 occlusal index의 사용을 특징으로 하는 본 석고모형 수술 방법이 과연 위와 같은 문제점들을 해결할 수 있는지 확인이 필요하였다. 그래서 정확성에 영향을 미칠 수 있는 여러 예상 인자들을 다양하게 조합하면서 모형수술을 시행하고 그 오차를 확인, 비교하였다. 여기에는 occlusal index 사용 여부가 우선 중요하게 평가되었는데, 이 occlusal index 장치를 사용하지 않았던 실험 제1에서 8군까지의 오차가 장치를 사용한 제9군에서 16군까지의 오차보다 큰 것으로 확인되어 index 사용이 긍정적으로 작용하였음을 확인할 수 있었다.

석고모형 수술 후 기준점의 전후방 길이(Z) 오차는 모든 실험군에서 0.1 mm에서 0.6 mm의 오차를 보이는 것으로 조사되어서 다른 항목보다 정확하였다. 이 중 Ellis[2], Erickson 등[7]의 방법 중 하나인 실험 제7군(nOI, HG, AIR, IE)과 고전적인 방법인 제1군(nOI, V, A, IE), 제3군(nOI, V, AIR, IE)이 큰 오차를 보였으며, 이들은 모두 비숙련 시술자들이 occlusal index 없이 모형 수술을 시행한 경우에 해당되어 index와 숙련도가 중요하다는 사실을 확인할 수 있었다. 또 실험 제10군(OI, V, A, E)과 제14군(OI, HG, A, E)은 가장 오차가 작아 모형수술이 정확한 군에 속했는데, 이들도 숙련군이 index를 가지고 석고모형을 행한 경우여서 마찬가지의 추론을 가능하게 해 주었다. 측방 길이(X), 수직 높이(Y), 전후방 길이(Z)를 모두 함께 고려한 3차원오차 항목에서도 같은 결과를 보여 실험 제11군(OI, V, AIR, IE), 제10군(OI, V, A, E)과 제14군(OI, HG, A, E)이 가장 작은 오차를 보였고 이들은 공통적으로 index를 사용한 군이었다. 또 전후방 길이(Z)가 측방 길이(X)나 수직 높이(Y)에서보다 작은 오차를 보였고 측정의 정확성을 검증하였던 이전 연구[3]에서도 수직 높이의 측정 정밀도가 가장 높은 것으로 확인된 바 있었으며 height gauge나 버어니어 캘리퍼스의 측정단이 쉽게 치아 기준점에 놓일 수 있다는 점에서 합리적인 결과로 생각된다.

그러나 이들 실험 결과 분석만으로는 어느 인자가 영향을 더 많이 미쳐 오차가 크게 발생하는지 정확하게 판단하기 어려워 각 인자들의 단독 작용에 의한 주효과와 인자들의 복합 작용에 의한 교호 작용 효과가 어떠한 영향을 미치는지 확인하고 그 유의성을 검증하였다(Table 4). 이에 따르면 index의 사용, 측정 도구의 종류, 석고모형 움직임의 종류, 그리고 시술자의 숙련도가 각각 독립적으로 작용하였던 주효과 분석의 경우 index의 사용이 오차 발생에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났고 그 다음은 숙련도였다. 반면 영향력이 가장 작았던 항목은 측정 도구의 종류여서 다소 의외였다. 또 2차 교호 작용 분석에서도 index와 숙련도가 가장 크게 나타나 주 효과에서와 비슷한 결과를 보였다.

또 이들 인자들이 상호 관계시 발생되는 오차의 정도도 직접 비교하였는데 위와 마찬가지의 결과를 보였다(Fig. 4～7). 앞에서 오차 발생에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었던 index의 사용과 숙련도에 따른 오차의 변화는 0.57 mm에서 2.25 mm였는데, 비숙련자가 index없이 석고모형 수술을 시행한 경우 2.25 mm, 숙련자가 index를 가지고 한 경우에는 가장 정확하여 0.57 mm의 오차를 보였다. 그 외에 숙련자가 index 없이, 혹은 비숙련자가 index를 가지고 석고모형 수술한 경우에는 그 중간값(0.92 및 0.74 mm)을 보였다.

결국 이런 모든 결과는 석고모형 수술 시 occlusal index를 사용하면 정확한 이동을 얻을 수 있다는 사실을 증명해 주는 것이었다. 또 숙련자보다는 비숙련자들에서 index를 사용한 후 오차 발생이 크게 줄어, 석고모형 수술에 익숙하지 않은 경우 더욱 효과적일 것이라고 예상할 수 있다. 따라서 충분히 숙련되지 못한 상태에서 석고모형 수술을 행하는 경우가 많은 우리 현실에서는 고무적인 결과로 생각된다. 특히 숙련자가 index를 가지고 했을 때의 오차 0.57 mm는 3차원 계측기의 측정 오차 0.10 mm까지 감안한다면 석고모형 수술 시 얻을 수 있는 합리적 범위로 생각할 수 있을 것 같다. Ellis[2]의 연구에서 석고모형 수술을 시행했던 4년차 레지던트들을 석고모형 수술에 경험이 있었던 숙련군으로 본다면, 실험 결과에서 나타났던 평균 1.1 내지 1.2 mm 정도의 오차와 비교해 본 연구의 숙련군이 index 없이 시행했을 때의 오차 0.92 mm는 비슷한 결과라고도 할 수 있다. 따라서 이들 레지던트들이 index를 가지고 석고모형 수술을 시행하였다면 오차를 반 정도로 줄일 수 있을 것으로 예상되고 이러한 결과라면 석고모형 수술의 정확성은 충분한 수준으로 제고되는 것이라고 생각할 수 있겠다. 결론적으로 새로 개발된 occlusal index가 석고모형 수술의 정확도에 대하여 충분한 기여할 수 있으며, 새로이 개발된 석고모형 수술 방법이 기존의 고전적인 방법이나 Ellis[2], Erickson 등[7]의 방법보다 정확하다는 사실을 확인할 수 있었다.

또 이러한 결과들은 모두 치아에 기준점을 두고 계획을 세워 모형수술을 행해 얻은 것이기 때문에 치아 기준의 가능성도 마찬가지로 확인할 수 있었다. 다만 이 연구에서 치아 이외의 기준점을 가지고 비교해보지 못했기 때문에 다른 부위의 기준점이 얼마나 정확하게 이용될 수 있는지 결론 내리기는 어렵다. 그러나 예를 들어 A 포인트나 anterior nasal spine과 같이 측두사진 상 기준점으로 선호되는 기준들은 교합기에 올려진 석고모형에서 재현

불가능하다. 또 이 기준들은 수술 과정에서 위치 추적도 거의 불가능에 가깝다고 할 수 있어 결국 실험 가능성이나 효용성 모두 부족하다고 할 수 있을 것이다.

또 본 연구에서 분석되지 못한 점은 시간 또는 간편성의 문제였다. 석고모형 수술 방법은 우선 정확해야 하고 그 다음으로는 쉽고 간편하게 조작할 수 있어야 한다. 술식의 간편성은 이제까지 집중적으로 다루어 왔던 정확성의 문제와는 별개의 것으로 술식의 평가에 중요한 변수가 될 수 있다. 원래의 실험 기획 단계에서는 조작 시간 등의 변수를 사용하여 객관화하려 했으나 여러 문제 때문에 실패하였다. 그래서 이 연구 데이터만을 가지고 결론을 내리기는 어려우나, 전 실험 과정에서 경험상 일관되게 확인할 수 있었던 사실은 index를 이용하는 방법이 비교적 종래의 방법에 비해 간단하고 편하며 시간이 적게 걸린다는 점이었다. Index를 쓰지 않았던 경우에는 임의로 모형을 움직인 후 측정, 확인을 해서 계획과 다른 경우 석고모형을 분리해서 다시 처음부터 예상만큼 움직여 하기 때문에 과정을 반복하는 만큼 시간 소모가 컸다. 그러나 index를 이용하는 경우 최초의 석고모형 움직임이 아주 정확할뿐더러 만일 오차가 있는 경우 그 상태에서 index를 필요한 만큼만 다시 움직여 줄 수 있기 때문에 편리하면서 짧은 시간이 소요되었다.

이러한 사실들을 모두 종합하였을 때 치아에 기준을 두고 occlusal index를 사용하여 상악 석고모형을 움직이는 방법으로 이루어진 본 석고모형 수술 방법은 비교적 정확하고도 간편한 것으로 간주된다. 앞으로도 많은 개선이 필요하겠으나 이런 방법을 근간으로 하는 석고모형 수술 방법은 크게 개선된 정확도를 확보할 수 있어 석고모형 수술 과정에서의 오차를 크게 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

Acknowledgements

본 연구 실험의 통계 처리와 분석을 위해 애써주신 경상대학교 자연과학대학 통계학과 박중양 교수님께 감사를 드립니다.

본 연구는 2009년도 연세대학교 학술연구비(치과대학 교내연구비) 지원에 의하여 이루어짐.

References

1. Epker BN, Fish LC. Definitive immediate presurgical planning. In: Epker BN, Fish LC, editors. Dentofacial deformities. St. Louis: CV Mosby co.; 1986. p. 128-46.
2. Ellis E III. Accuracy of model surgery. J Oral Maxillofac Surg 1990;48:1161-7.
3. Lee SH, Lee SH, Ju HH, Won DH. The accuracy of measurements during model surgery for orthognathic planning. J Korean Oral Maxillofac Surg 2001;27:37-45.
4. Ellis E III. Accuracy of face-bow transfer. J Oral Maxillofac Surg 1992;50:562-7.
5. Nattestad A, Vedtoft P. Pitfalls in orthognathic model surgery. Int J Oral Maxillofac Surg 1994;23:11-5.
6. Kim BC, Lee CE, Park W, et al. Clinical experiences of digital model surgery and the rapid-prototyped wafer for maxillary orthognathic surgery. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;111:278-85.
7. Erickson KM, Bell WH, Goldsmith DH. Analytical model surgery. In: Bell WH, editor. Modern practice in orthognathic and reconstructive surgery. Philadelphia: WB Saunders co.; 1992. p. 154-216.
8. Pretta FM, Caruso WA. The use of acrylic spacers in orthognthic model surgery. J Oral Maxillofac Surg 1983;41:473-5.
9. Anwar M, Harris M. Model surgery for orthognathic planning. Br J Oral Maxillofac Surg 1990;28:393-7.
10. Ellis E 3rd, Gallo WJ. A method to accurately predict the position of the maxillary incisor in two-jaw surgery. J Oral Maxillofac Surg 1984;42:402-4.
11. Stanchina R, Ellis E 3rd, Gallo WJ, Fonseca RJ. A comparison of two measures for repositioning the maxilla during orthognathic surgery. Int J Adult Orhto Orthognath Surg 1988;3:149-54.
12. Dahlberg G. Stastical methods for medical and biological students. Newyork. Interscience publication, 1940, cited from Sandler PJ: Reproducibility of cephalometric measurements. Br J Orthod 1988;15:105-10.
13. Omura T, Glickman RS, Super S. Method to verify the accuracy of model surgery and prediction tracing. Int J Adult Orthod Orthognath Surg 1996;11:265-70.
14. Nattestad A, Vedtofte P, Mosekilde E. The significance of an erroneous recording of the centre of mandibular rotation in orthognathic surgery. J Craniomax Fac Surg 1991;19:254-9.
15. Schwestka R, Engelke D, Zimmer B, Kubein-Meesenburg D. Positioning control of the upper incisors in orthognathic surgery. Pre-operative planning with the Model Positioning Device and intra-operative application of the Sandwich Splint. Eur J Orthod 1991;13:367-71.
16. Bell WH. Correction of the short-face syndrome-vertical maxillary deficiency: a preliminary report. J Oral Surg 1977;35:110-20.
17. Bell WH, Creekmore TD, Alexander RG. Surgical correction of the long face syndrome. Am J Orthod 1977;71:40-67.
18. Buckley MJ, Tucker MR, Fredette SA. An alternative approach for staging simultaneous maxillary and mandibular osteotomies. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 1987;2:75-8.
19. Cottrell DA, Wolford LM. Altered orthognathic surgical sequencing and a modified approach to model surgery. J Oral Maxillofac 1994;52:1010-20; discussion 1020-1.
20. Fuhrmann RA, Frohberg U, Diedrich PR. Treatment prediction with three-dimensional computer tomographic skull models. Am J Orthod Dentofac Orthop 1994;106:156-60.