



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

CAD/CAM 기술을 이용한 악교정
수술용 교합 장치의 정확도 연구 :
전통적 형태와 변형된 형태의 비교

연세대학교 대학원

치 의 학 과

이 용 빈

CAD/CAM 기술을 이용한 악교정 수술용 교합 장치의 정확도 연구 :

전통적 형태와 변형된 형태의 비교

지도교수 정 휘 동

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2016년 6월 일

연세대학교 대학원


치 의 학 과

이 용 빈

이용빈의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 정희동 

심사위원 김경준 

심사위원 정영수 

연세대학교 대학원

2016년 6월 일

감사의 글

우선 석사 과정 동안 저를 세심하게 지도해주시고 격려해주신 김형준 교수님과 정휘동 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 와중에도 논문을 보완할 수 있도록 조언을 해주신 정영수 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 그리고 구강악안면외과 수련과정 동안 아낌없는 가르침과 관심을 쏟아주신 박형식 교수님, 차인호 교수님, 이상휘 교수님, 강정완 교수님, 남웅 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

3년의 수련기간 동안 옆에서 든든하게 함께 지냈던 동기 임정환, 조훈, 김민규, 여기성과 의국 선후배 전공의에게도 감사의 인사를 전합니다. 마지막으로 늘 힘이 되어주고 저에게 사랑을 아끼지 않으시는 우리 가족과 은비에게 감사하고 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.

차 례

| | |
|-----------------------------|-----|
| 차례 | i |
| 그림 차례 | iii |
| 표 차례 | iv |
| 국문 요약 | v |
| | |
| I. 서론 | 1 |
| | |
| II. 연구대상 및 방법 | 4 |
| 1. 연구대상 | 4 |
| 2. CT 촬영 및 3차원 입체 영상 모델의 제작 | 6 |
| 3. 수술 계획 수립 및 가상 수술 | 7 |
| 4. 수술용 교합 장치의 제작 | 8 |
| 5. 수술 방법 | 9 |
| 6. 수술용 교합 장치의 정확성 평가 | 11 |
| 7. 방법 오차(method error)의 평가 | 13 |
| 8. 통계적 분석 방법 | 13 |
| | |
| III. 연구 결과 | 14 |
| 1. 방법 오차의 평가 | 14 |
| 2. 채워치된 상악골의 오차율 | 14 |
| 3. 채워치된 하악골의 오차율 | 16 |

| | |
|--------------|----|
| IV. 고찰 | 17 |
| V. 결론 | 25 |
| 참고 문헌 | 27 |
| 영문 요약 | 32 |

그림 차례

| | |
|--|----|
| Figure 1. Fabrication of modified intermediate wafer | 9 |
| Figure 2. Intraoperative view of modified intermediate wafer assembly | 10 |
| Figure 3. Calculation of surface discrepancy between 1-month postoperative model and virtual planning model | 12 |

표 차례

| | |
|---|----|
| Table 1. Measurement of superimposition accuracy | 14 |
| Table 2. Discrepancy between virtual plan and postoperative result at Maxilla | 15 |
| Table 3. Discrepancy between virtual plan and postoperative result at Mandible | 16 |

국문 요약

CAD/CAM 기술을 이용한 악교정 수술용 교합 장치의

정확도 연구 : 전통적 형태와 변형된 형태의 비교

본 연구에서는 두 가지 형태의 CAD/CAM 기술을 이용한 교합 장치를 비교하여 그 정확성을 평가하고자 하였다. 총 20명의 환자가 연구에 포함되었으며, 10명은 occlusal based wafer만 있는 전통적 형태의 CAD/CAM 교합 장치를 사용하였으며, 10명은 두개안면부를 기준으로 제작된 변형된 형태의 CAD/CAM 교합 장치를 사용하였다. 수술 전 가상 수술모델 영상과 술후 1개월 영상 모델을 중첩하고 두 모델간의 평균 표면 거리를 측정하여 재위치된 상악골의 오차율을 비교함으로써 두 장치의 정확도를 평가하였다. 이를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전통적 형태의 CAD/CAM 장치를 사용한 군에서는 상악골의 경우 두 입체 영상 모델이 평균 0.78mm(표준 편차 0.13mm)의 표면 거리 차이를 보였으며, 평균 66.4%의 면적이 1.0mm 이내의 차이를 보였다. 10명 중 한 명(97.9%)을 제외하고는 모두 2.0mm 이내의 차이를 나타냈다. 하악

골에서는 평균 0.93mm(표준 편차 0.34mm)의 오차를 보였다.

2. 변형된 형태의 CAD/CAM 장치를 사용한 군에서는 상악골의 경우 평균 0.77mm(표준 편차 0.08mm)의 표면 거리 차이를 보였으며, 평균 68.3%의 면적에서 1.0mm 이내의 차이를 보였다. 10명 중 한 명(9.5%)을 제외하고는 모두 2.0mm 이내의 차이를 보였다. 하악골에서는 평균 1.21mm(표준 편차 0.24mm)의 오차를 보였다.
3. 두 군간의 차이는 상악골과 하악골 모두에서 통계적으로 유의하지 않았다.

이상의 결과를 통하여, CAD/CAM 기술을 이용한 두 가지 형태의 악교정 수술용 교합장치가 모두 양호한 정확도를 보이며, 두 장치의 정확도는 유의할 만한 차이가 없다는 것을 확인하였다. 변형된 형태의 장치는 외부계측법을 위한 K-wire 삽입이 필요없으며, 하악골 과두의 위치 오류에 의한 문제도 해결할 수 있다. 또한 복잡한 상악골의 이동이 필요한 경우에 통상적 방법보다 해부학적으로 안정적인 구조물에 기준을 둘 수 있어 장점을 가질 수 있을 것으로 생각된다.

핵심되는 말 : 악교정 수술, CAD/CAM 기술, 교합장치, 정확도

CAD/CAM 기술을 이용한 악교정 수술용 교합 장치의 정확도 연구 : 전통적 형태와 변형된 형태의 비교

< 지도교수 정 휘 동 >

연세대학교 대학원 치의학과

이 용 빈

I. 서 론

악안면 영역의 형태와 기능을 결정하는 요소는 안면 연조직, 경조직, 그리고 치열이다. 이들 사이의 부조화는 악안면 기형의 형태로 나타나며, 악교정 수술은 세 요소의 이동을 통해 조화로운 관계를 회복시키는 술식이다. 정확한 악교정 수술을 위해서는 수술 전 정확한 진단 및 수술 계획이 필요하며 이를 위한 적절한 정보 수집과 분석 과정이 요구된다. 악교정 수술을 위한 진단은 임상적, 방사선학적, 치아 모형 분석에 기초하여 이루어진다. 이러한 분석을 바탕으로 석고 모형 상에서 모의 수술을 시행하게 되고, 이를 통하여 수술계

획을 결정하게 된다. 모의 수술을 통하여 확정된 수술 계획은 수술실에서 최대한 정확히 재현되어야 하는데, 이를 가능하게 하는 것이 수술용 교합 장치이다. 통상적으로 수술용 교합 장치는 facebow transfer와 교합기를 사용하여 제작하게 되는데 이 교합 장치가 악교정 수술의 성공에 있어 가장 중요한 요소 중 하나이다.

두부계측 방사선 사진을 기반으로 한 2차원 평면 기준의 진단 및 치료 계획을 수립하고, 석고 모형상의 모의 수술을 통해 수술용 교합 장치를 제작하고 실제 수술에 적용하는 과정은 과거로부터 현재까지 30년 이상 안정적으로 이용되고 있는 방법이다(Ellis E et al., 1990; Marko JV, 1986). 하지만 2차원 기반의 계획 수립, facebow transfer, model surgery, wafer fabrication 단계를 거치면서 오차가 발생하게 되며, 특히 심한 악안면기형으로 복잡한 악골의 이동이 필요한 경우에는 계획대로 골편을 정확히 이동시키는 것은 현실적으로 불가능하다.

3차원 영상 처리 기법의 발달하면서 이러한 2차원 기반의 진단 및 수술 계획 수립의 한계를 극복하기 위한 3차원 기반의 진단 및 수술의 중요성이 강조되어왔다(Marchetti et al., 2006; Swennen et al., 2009; Richard RJ C et al., 2014). 특히 computed tomography(CT) 이미지의 정밀도 향상과 3D 프린터를 이용한 입체 인쇄술의 발달로 환자 두개골, 악골과 악궁의 정밀한 3D 모형을 제작하고, 이를 기반으로 한 진단 및 수술 계획의 수립, 수술용 교

합 장치의 제작이 임상적으로 가능한 수준까지 발달이 이루어졌다(Song et al., 2009; Swennen et al., 2009).

수작업에 의한 수술용 교합 장치 제작과정에서의 오차를 줄이기 위해 CAD/CAM을 통한 제작 방법이 활발히 개발되었으며, 그 정확성을 평가하기 위한 연구 또한 꾸준히 이루어져왔다. 이러한 기존 연구들은 수작업을 통한 수술용 교합 장치와 비교하여 CAD/CAM 기술을 이용한 수술용 교합 장치의 정확도가 임상적으로 유의할만한 우수성을 갖는다고 보고하였다(Metzger et al., 2008; Centenero et al., 2012; Schouman et al., 2015).

LeFort I 골절단술을 시행 후 상악골을 재위치시킬 때, 통상적인 수술용 교합 장치는 하악골의 중심위(centric relation)와 자가회전(autorotation)을 이용하여 상악골을 위치시키게 되는데, 이는 술자와 보조자의 경험에 크게 좌우될 수 있다. 따라서 가동성이 있는 하악골을 기준으로 위치된 상악골은 그 정확성에 있어 한계가 있다. 또한 기존의 수술용 교합 장치는 상악골의 수직적인 위치를 정할 수 없기 때문에 K-wire를 이용한 외부계측법을 주로 사용하게 된다. 이러한 방법은 상악 전치부의 수직적 위치를 조절할 수 있지만, 상악골의 전체적인 평면이나 구치부는 적절히 조절하기 어려우며 K-wire로 인해 불가피하게 피부에 반흔을 남기게 될 수도 있다. 그리고 상악골의 상방이 동시 정확한 양의 골 삭제가 이루어져야 하는데 기존의 교합 장치는 이 부분에 대해서는 전혀 기여하지 못한다.

앞서 언급된 한계를 극복하기 위하여 가동성이 없는 두개안면부를 상악골 재위치시의 기준점으로 사용하는 변형된 형태의 수술용 교합 장치가 적용될 수 있다. 변형된 형태의 교합 장치는 골절단 유도부(osteotomy guide)와 재위치 유도부(repositioning guide)로 구성이 된다(Zinser et al., 2012; Li et al., 2013). 이러한 형태의 장치는 특히 상악골이 회전하거나 상방으로 움직여야 하는 경우에 매우 유용할 수 있으며, 이론적으로 더 정확한 위치에 상악골을 위치시킬 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 CAD/CAM 기술을 통해 제작된 기존 방식의 교합 장치와 변형된 형태의 교합 장치를 사용하여 악교정 수술을 시행한 환자들의 3차원 술전 가상 수술 모델과 술후 모델을 비교하여, 두 가지 형태의 교합 장치의 정확성을 비교하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

IRB 승인번호 : 2-2016-0007

1. 연구대상

2014년 12월부터 2016년 3월까지 연세대학교 치과대학병원 구강악안면외과에서 한 명의 술자에 의해서 상하악 동시 악교정 수술을 받은 남자 6명, 여자 14명, 총 20명(17~32세, 평균 20.1세)을 대상으로 하였다. 이 중 전통적 형태의 교합 장치를 사용한 환자(Conventional group)는 총 10명(남자 4명, 여자 6명, 17~22세, 평균 19세)이었으며, 변형된 형태의 교합 장치를 사용한 환자(Modified group)는 총 10명(남자 2명, 여자 8명, 17~32세, 평균 21.2세)이었다. 모든 피험자들은 수술 전(T0), 수술 후 1개월(T1)이 되었을 때 두개안면골의 전산화 단층촬영(multislice computed tomography, CT 또는 cone-beam computed tomography, CBCT)를 시행하였다. 전통적 형태 그룹의 경우에는 CBCT를, 변형된 형태의 경우 multislice CT를 촬영하였다.

2. CT 촬영 및 3차원 입체 영상 모델의 제작

전통적 형태 그룹의 경우, 연세대학교 치과대학병원에 설치된 CBCT 촬영기 (Alphard 3030; Asahi Roentgen Inc, Kyoto, Japan)를 사용하였다. 촬영 조건은 field of view 19.97cm, 80kVp, 85mA, scanning time 17sec. 였다. 변형된 형태 그룹에서는 High-speed Advantage 전산화 단층 촬영기 (GE Medical System, Milwaukee, U.S.A)를 사용하였다. 촬영 조건은 field of view 24.1cm, 100kV, 120mA, scanning time 1sec., thickness 0.6mm 였다. 촬영된 영상 정보는 Digital Imaging Communication in Medicine(DICOM) 파일 형식으로 저장하고 3차원 입체 의료 영상 프로그램인 Mimics 16.0 (Materialise n.v., Leuven, Belgium)을 사용하여 두개안면골의 3차원 입체 영상 모델을 제작하였다. CBCT/CT 상에서 치열(dentition)은 교정 장치 등에 의한 artifact가 심하기 때문에 환자의 석고 치아 모형을 스캔하여 Standard Tessellation Language (STL) 파일 형태로 저장하고, 이를 상하악골의 3차원 영상 모델에 위치시켜 최종 술전 상하악골 영상 모델을 완성하였다.

3. 수술 계획 수립 및 가상 수술

진단 및 수술계획 수립과 가상 수술은 앞서 제작된 두개안면골의 3차원 영상 모델과 SimPlant Pro 14.0 (Materialise Dental n.v., Leuven, Belgium) 프로그램을 이용하여 시행하였다. 우선 상하악골의 이동시 기준이 될 수 있는 3개의 기준 평면을 설정하였다. Frankfort Horizontal Plane(FHP)을 좌측 및 우측의 Porion point(Po)의 중간점(midpoint)과 양측 Orbitale point(Or)를 지나는 평면으로 설정하였으며, 정중시상 기준평면(midsagittal reference plane, MSP)는 FHP에 수직이면서 Nasion point(Na)와 center of foramen magnum(CFM)을 지나는 평면으로 하였다. 전후방적 평가를 위하여 FHP와 MSP에 수직이면서 Na를 지나는 평면을 N-coronal plane으로 설정하였다. 각 기준점과 기준 평면의 정의는 다음과 같다.

가. Po-Mid : midpoint of right and left porion

나. CFM(center of foramen magnum) : the midpoint of foramen magnum at the level of basion

다. Frankfort Horizontal Plane(FHP) : the plane defined by point Po-Mid, right and left orbitale

라. Midsagittal plane(MSP) : the plane through point Na and point CFM

and perpendicular to the plane FHP

따. N-coronal plane : the plane through point Na and perpendicular to the plane FHP & MSP

프로그램 상에서 가상의 골절단술을 시행하고 상하악골을 이동시켰다. 하악골의 위치는 교정과 의사와의 협의를 통하여 결정된 술후 교합에 따라 정해졌으며, 골편의 이동량은 수치화되어 조절되었다.

4. 수술용 교합 장치의 제작

가상 수술이 완료된 모델은 STL 파일 형태로 저장하고 CAD/CAM 기술을 이용하여 수술용 교합 장치의 제작을 시행하였다. 전통적 형태의 교합 장치는 상하악 치열 중간에 적용되는 기존의 수작업에 의해 제작되던 교합 장치와 동일한 형태이다. 반면 변형된 형태의 교합 장치는 전통적 형태의 교합 장치 외에 상악골 전벽에 적합되고 screw로 고정할 수 있는 osteotomy guide와 resection guide 및 repositioning bar가 함께 제작되었다(Figure 1).

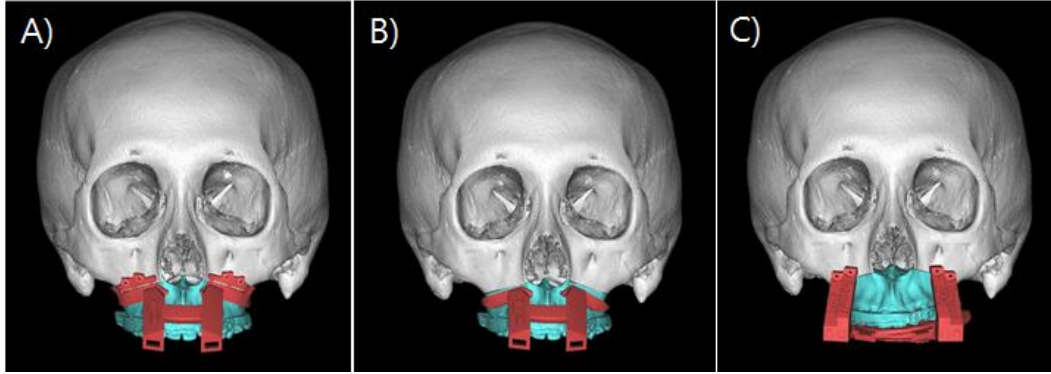


Figure 1. Fabrication of modified intermediate wafer

A) Osteotomy guide, B) Resection guide, C) Repositioning bar

5. 수술 방법

모든 피험자들은 상악골은 LeFort I 골절단술을 시행하였고, biodegradable unsintered hydroxyapatite combined with poly L-lactide miniplate (Osteotrans-MX, TAKIRON, Osaka, Japan)를 사용하여 고정 (rigid fixation)하였다. 하악골은 양측 IVRO를 사용하여 후방이동시켰다. Conventional group에서는 통상적인 형태의 CAD/CAM 수술용 교합 장치가 사용되었으며, modified group에서는 LeFort I 골절단술 시에 osteotomy

guide가 사용되었으며, osteotomy guide 제거 후에 resection guide 및 repositioning bar를 이용하여 골삭제 및 상악골 재위치가 이루어졌다(Figure 2). 전체 피험자 중 7명은 이부성형술이 동반되었고, 7명은 이부의 shaving이 동반되었다. 또 모든 피험자에게 술후 10일간의 악간 고정 후 4주간 활성화적 물리치료와 고무줄을 이용한 악간 고정을 반복하였다.



Figure 2. Intraoperative view of modified intermediate wafer assembly

- A) Osteotomy guide is positioned and fixated with screw.
- B) After Le Fort I osteotomy, resection guide is positioned.
- C) Repositioning of maxilla with repositioning bar.

6. 수술용 교합 장치의 정확성 평가

두 그룹의 수술용 교합 장치의 정확성을 평가하기 위하여 술전 가상수술을 시행한 3차원 입체 영상 모델과 술후 1개월에 촬영한 CT 영상을 통해 얻은 3차원 입체 영상 모델을 중첩(superimposition)하여 두 개의 입체 영상 모델 표면 간의 거리(오차율)를 측정하고자 하였다. Mimics와 Rapidform 2006 (INUS Technology, Seoul, Korea) 프로그램을 이용하여 두 모델을 수술에 포함되지 않는 두개골(Cranium)을 기준으로 중첩하였으며, Rapidform 을 사용하여 두 입체 영상 모델 표면 간의 오차율을 측정하였다. 중첩이 완료된 후에 상악골과 하악골의 오차율은 분리하여 각각 계산하였으며, 이부성형술 또는 이부의 shaving을 시행받은 환자의 경우 수술 범위에 포함된 부분을 제외하고 오차율을 측정하였다(Figure 3).

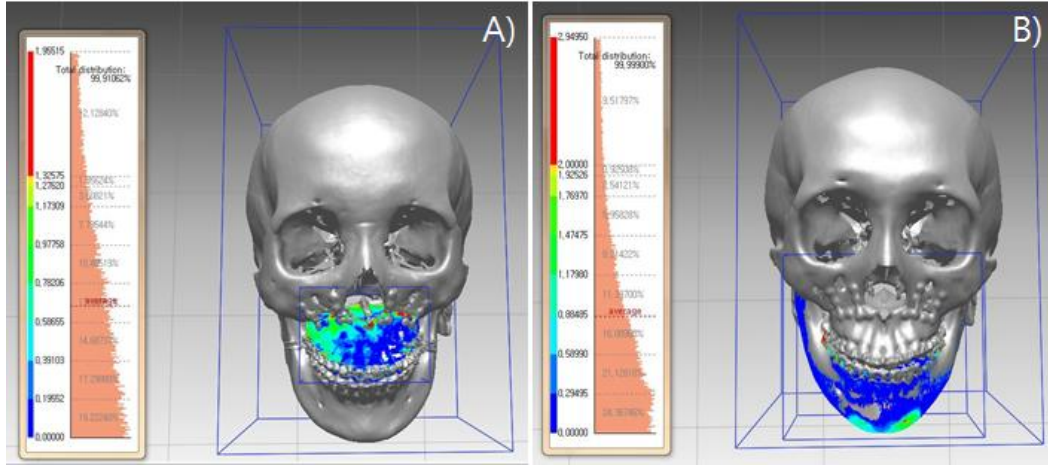


Figure 3. Calculation of surface discrepancy between 1-month postoperative model and virtual planning model

A) Measuring the distance between two models and showing average distance (mm) in maxilla

B) Measuring the distance between two models and showing average distance (mm) in mandible

7. 방법 오차(method error)의 평가

중첩의 정확성을 평가하기 위하여, 중첩의 기준이 되는 두개골 부위의 오차를 또한 측정하여 방법 오차를 평가하였다. 마찬가지로 Rapidform 프로그램을 사용하여 두 모델의 두개골 부위 표면 간의 평균 거리를 측정하였다.

8. 통계적 분석 방법

가상 수술 모델과 실제 술후 모델과의 차이가 유의한 의미가 있는지 검정하기 위하여 Mann-Whitney test를 이용하였다. 통계 처리에는 PASW(Predictive Analytics Software), 18.0 version (SPSS Inc, Chicago, IL, U.S.A.) 프로그램을 사용하였으며, p value가 0.05 이하일 경우 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

III. 연구 결과

1. 방법 오차의 평가

중첩의 정확성을 평가한 결과, 두 그룹의 술전 가상 수술 모델과 술후 1개월 영상 모델간 평균 거리는 두개골에서 각각 $0.47 \pm 0.24\text{mm}$ (conventional group), $0.7 \pm 0.38\text{mm}$ (modified group)를 나타냈다 (Table 1).

Table 1. Measurement of superimposition accuracy.

| | Conventional Group | Modified Group |
|-----------------------|--------------------|----------------|
| Average distance (mm) | 0.47 ± 0.24 | 0.7 ± 0.38 |

2. 재위치된 상악골의 오차율

수술 전 가상 수술 모델에서 상악골을 분리하여 술후 1개월 영상 모델과 비교하여 그 오차율을 측정하였다. 그 결과 평균 오차율은 conventional group

에서 $0.78 \pm 0.13\text{mm}$ 였고, modified group은 $0.77 \pm 0.08\text{mm}$ 였다. 두 그룹간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(Table 2). Conventional group에서 1.0mm 이내의 오차를 보인 면적은 53.9%~88.4%(평균 66.4%)였으며, modified group에서는 52.2%~75.8%(평균 68.3%)로 나타났다. 또한 두 그룹 모두 각각 한 케이스를 제외하고는 오차값이 2.0mm 이내였으며, 이 경우에도 2.0mm 이내의 오차를 보인 면적이 각각 97.9%(conventional group)와 99.5%(modified group) 이었다.

Table 2. Discrepancy between virtual plan and postoperative result at Maxilla

| | Conventional Group | Modified Group | <i>p</i> -value |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Average distance (mm) | 0.78 ± 0.13 | 0.77 ± 0.08 | 0.393 |
| Average error within 1mm(%) | 66.4 | 68.3 | 0.19 |

3. 재위치된 하악골의 오차율

수술 전 가상 수술 모델에서 하악골을 분리하여 술후 1개월 영상 모델과 비교하여 그 오차율을 측정하였다. 평균 오차율은 conventional group에서 $0.93 \pm 0.35\text{mm}$ 였고, modified group에서 $1.21 \pm 0.24\text{mm}$ 였다. 두 그룹 간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(Table 3). 1mm 이내의 오차를 보인 부분은 conventional group에서 35.4%~88.5%(평균 61.8%)였으며, modified group에서는 33.2%~66.3%(평균 47%)를 보였다. 2mm 이내의 오차를 보인 부분은 conventional group에서 평균 87.9%, modified group의 경우 80.2%로 나타났다.

Table 3. Discrepancy between virtual plan and postoperative result at Mandible

| | Conventional Group | Modified Group | <i>p</i> -value |
|------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Average distance (mm) | 0.93 ± 0.35 | 1.21 ± 0.24 | 0.075 |
| Average error within 1mm (%) | 61.8 | 47.0 | 0.089 |

IV. 고찰

악교정 수술에서 교합 장치는 분리된 골편을 술전에 계획되었던 대로 위치시키는 데에 있어 가장 필수적인 요소이다. Facebow transfer와 반조절성 교합기를 통하여 제작된 고전적 형태의 교합 장치는 여전히 많은 기관에서 사용하고 있으며, 그 신뢰도 또한 믿을만하다고 알려져 있으나, 그 제작 과정에 있어 많은 오차 발생 요인을 가지고 있는 것이 분명한 사실이며, 술전 계획과 술후 결과를 중첩할 수 있는 적절한 방법이 없기 때문에 정확도 평가가 현실적으로 불가능하다. 기존 형태의 수술용 교합 장치는 최대 5mm 까지 오차를 보일 수 있다고 보고된 바 있으며(Ellis et al, 1990), 두개저에 대한 상악골의 3차원적인 위치(anteroposterior, mediolateral, vertical and rotation)를 적절히 조절하지 못한다. 특히 전후방적, 수직적 변화에 있어서는 상대적으로 더 큰 오차($0.15\text{mm} < 1.3\text{mm}$)를 나타내는 결과를 보였다(Zinser, 2015). 수직적인 위치를 수술용 교합 장치가 정해주지 못하기 때문에 외부계측법이 이를 위해 사용되고 있다.

CT 또는 CBCT로부터 얻어지는 데이터가 더 정밀해지고, 3차원적으로 악안면기형을 분석할 수 있는 소프트웨어가 발전하면서, 3차원 기반의 진단 및 수술 계획 수립과 술후 평가가 가능해지고 있다. 악교정 수술을 위한 이러한 3

차원 기반의 진단은 기존의 방법과 비교하여 중요한 이점들을 가지고 있다. 첫째로 임상가는 환자의 3차원 해부학적 구조에 대하여 더 고차원적인 정보를 갖게 된다. 이를 통하여 임상가는 환자의 측모 뿐만 아니라 안면의 3차원적 조화에 더 초점을 맞출 수 있다. 두 번째, 기존 석고 모형 상에서의 가상 수술과 달리 소프트웨어를 활용하여 가상 수술을 여러 번에 걸쳐 더 쉽게 수행할 수 있게 되었다. 그리고 동료들 간에 강력한 커뮤니케이션 도구가 되고, 환자에게 시각적으로 치료 계획을 설명하는 데에 도움을 줄 수 있다. 또한 3차원 입체 영상 모델의 중첩을 통하여 수술 결과에 대한 평가도 가능하게 한다(Hernandez-Alfaro, Guijarro-Martinez, 2013).

기존의 수술용 교합 장치가 갖는 한계를 극복하기 위해서 CAD/CAM 기술을 이용하거나 navigation assisted surgery 등이 시도가 되고 있으며(Hernandez-Alfaro et al, 2013; Mazzoni et al, 2010), 개개 환자에 맞춰진(customized) 수술용 가이드나 고정판을 제작하여 수술하는 방법(Li et al, 2013; Mazzoni et al, 2015) 등 다양한 술식이 보고되고 있다. 2003년 Gateno가 처음으로 3차원 입체 영상 모델에 레이저 스캐닝을 이용하여 치아를 입히는 기법을 임상적으로 적용하였으며, 2010년 Mazzoni는 navigation assisted surgery를 통하여 86.5%(오차 <2mm)의 정확도로 술전 계획을 수술방에서 재현해낸 바 있다. 또한 2007년 Marmulla와 Muhling은 navigation을 이용하여 condyle을 오차 범위 0.7mm 이내로 위치시켰다.

이러한 navigation assisted surgery는 기존의 방식이 한계를 갖고 있는 상악골의 수직적 위치 조절에 적절한 방법이나, 매순간 수많은 참고점을 확인해야 한다는 단점이 있고, 경제적인 문제로 인하여 아직 널리 사용되고 있지는 못하다(Mazzoni, Bianchi, Schiariti et al, 2015). 환자 개인에 맞춰진 수술용 가이드는 3차원적인 수술 계획을 실제적이고 정확하게 시행할 수 있게 해주는 방법으로, 이미 하악골 절제 및 재건술에 사용된 바 있다(Eufinger H et al, 1997; Juergens P et al, 2009).

CAD/CAM 교합 장치의 정확도를 기존의 수작업에 의한 교합장치와 비교하는 연구는 이미 많이 이루어졌다. Kwon 등은 상악골이 1mm 이내의 오차를 보이는 비율이 CAD/CAM 교합 장치의 경우 31.6-84.2% 이고, 수작업에 의한 교합 장치의 경우 34.8-65.2% 였다고 보고한 바 있다(Kwon et al, 2014). 그리고 Song 등은 CAD/CAM 교합 장치의 오차율이 0.35mm 이하로, 기존 교합 장치의 0.94mm에 비해 정확도가 우수하다고 보고하였다(Song et al, 2009). 그렇지만 대부분의 연구는 변형된 형태의 교합 장치를 보고하거나, 기존 수작업에 의한 교합 장치와의 정확성을 비교하는 내용이었다. 본 연구에서는 CAD/CAM 기술을 이용하여 제작한 두 가지 형태의 정확성을 비교하였으며, 이러한 연구는 거의 진행된 바가 없었다.

기존의 수술법에서 상악의 수직적 위치를 술중에 확인하고 조절하는 방법으로 외부계측법이 많이 사용되어왔다. Nasion 부위에 K-wire를 식립하여 수

술 중 언제라도 상악 전치부의 수직적 위치를 측정할 수 있는 방법으로, 내부 계측법보다 그 정확성에 있어 더 우수한 것으로 보고되었다(Ferguson JW, Luyk NH, 1992). 이러한 외부계측법 또한 여러 가지 변형된 형태들이 사용되었으며, 정확성에 대한 보고가 있어왔지만, 근본적으로 이러한 외부계측법은 상악전치부의 수직적 위치만을 보장해준다. 상악 평면과 구치부의 위치는 기존의 외부계측법으로는 술전 계획대로 정확히 위치시키는 것에 한계가 있으며(Zinser et al 2012), 이는 특히 숙련되지 않은 술자에게는 더 큰 오차를 발생시킬 수 있을 것이다.

앞서 언급하였던 대로 CAD/CAM 교합 장치의 정확성은 이미 많이 연구되었으며, 수작업에 의해 제작되는 고전적 형태의 교합 장치와 비교하여 우수한 정확도를 보이는 것으로 알려져있다. 그러나 이런 CAD/CAM 방식을 이용하더라도 오차를 유발할 수 있는 몇가지 요인들이 있는데, 3D 영상을 처리하는 과정에서의 오류, 치아 모형의 3D 스캔시의 오류, 그리고 수술 시 하악 과두의 잘못된 위치가 그것이다. 이 중 가장 큰 기여 요인은 하악 과두의 잘못된 위치이다(Hsu et al., 2013; Schouman et al., 2015). CAD/CAM을 이용하여 교합 장치를 제작하였다고 하더라도, 기존의 악교정수술법에서 상악골을 위치시키는 근본적인 원리는 동일하다고 할 수 있다. 즉, 상악골을 분리한 후 교합장치와 상하악골 복합체를 하악골의 autorotation을 통하여 위치시키게 되며, 통상적인 CAD/CAM 교합 장치도 마찬가지로 수직적 위치를 조절해주는

것은 아니기 때문에 외부계측법을 함께 사용하게 된다. 또한 숙련된 술자와 보조원이 필수적이다. 술전 준비 과정에서 환자의 교합 채득이 부적절하게 이루어졌거나, 환자의 CO-CR discrepancy가 있는 경우, 하악골의 autorotation을 이용한 방법으로는 수술방에서 수술 계획을 정확히 재현하기가 쉽지 않다. 하악골이 기본적으로 가동성이 있는 구조물이기 때문에 이론적으로 그 정확도에 있어 한계가 있다.

전통적 형태의 수술용 교합장치가 갖는 이러한 한계점들을 극복하기 위하여 형태가 변화된 CAD/CAM 수술용 교합장치들이 개발되어 왔다. CAD/CAM 기술과 RP 모델을 이용하여 locating guide와 prebent 티타늄 고정판을 제작하고 악교정수술에 사용한 증례가 보고된 바 있으나(Bai et al, 2015), 이 논문에서는 수술의 정확성에 대한 평가는 이루어지지 않았다. 2015년 Mazzoni 등은 bone cutting guide와 prebent 티타늄 고정판을 사용하고 그 정확성을 보고한 바 있다. 총 10명의 환자 중 7명에서 정확도 100%(오차<2mm)를 보였다고 하였다. 2013년 Li 등은 osteotomy guide와 repositioning guide를 6명의 환자에게 사용하였으며, 상악골의 위치 오차는 평균 1mm 이내였으며 가장 큰 오차가 1.7mm라고 보고하였다.

본 연구에서는 변형된 형태의 교합장치가 전통적 형태의 교합장치가 갖는 한계를 해결하고 수술의 정확성에 있어 어떤 차이를 보일 수 있는지 확인하고자 하였다. 변형된 형태의 수술용 교합장치는 occlusal-based wafer, osteotomy

guide, resection guide, repositioning bar로 구성되어 있다. Osteotomy guide에 포함된 두 개의 screw hole은 상악골 전벽과 측벽에 guide를 정확히 위치시키고 고정시키는 데에 사용되며, guide 고정 후에 술전 가상 수술에서 계획하였던 대로 골절단을 시행할 수 있었다. Resection guide는 필요한만큼 정확한 골삭제를 가능케 해주며 repositioning bar를 이용하여 상악골 재위치를 시행하였다. Osteotomy guide를 처음 사용할 때 상악골 전벽에 형성된 screw hole이 repositioning bar를 고정하고 상악골을 위치시키는 데 다시 사용된다. 이를 통하여 외부계측법을 위한 K-wire 삽입 과정이 생략될 수 있었으며, 상악골을 술전 계획대로 위치시키고자 하였다.

두 그룹을 비교한 결과, 전통적 형태의 CAD/CAM 교합장치의 경우 술전에 계획된 상악골의 위치와 실제 술후 상악골의 위치는 평균 0.78mm(표준 편차 0.13mm)의 오차율을 나타냈다. 변형된 형태의 교합장치의 경우 상악골 위치의 오차율은 평균 0.77mm(표준 편차 0.08mm)로 conventional group과 유의한 차이를 보이지 않았다. 기존 연구들에서는 2mm의 오차 범위가 임상적으로 용인할 만하다고 하였으나(Schouman et al, 2015; Hsu et al, 2013), 본 연구에서는 1mm 이내의 오차를 보이는 부분을 함께 평가하였다. Conventional group에서 1mm 이내의 오차 범위를 보이는 부분(상악골)은 평균 66.4%, modified group에서는 평균 68.3%로 modified group에서 더 높은 결과를 보여주었으나 그 차이는 유의하지 않았다. 하악골은 교정과 의사

와의 협의 하에 설정된 최종 교합과 final wafer를 사용하여 위치시켰으며, 두 그룹에서 각각 평균 0.93mm(표준 편차 0.35mm), 1.21mm(표준 편차 0.24mm)의 오차를 보였다. 두 그룹간의 차이는 상악골과 마찬가지로 유의하지 않았다.

그러나 하악 과두 위치의 불안정 등으로 인해 occlusal-based wafer를 통한 정확한 repositioning이 불가능한 경우, 과두의 위치 요소를 배제하고 안정적인 해부학적 구조물로부터 참고점을 얻을 수 있는 modified intermediate wafer가 유리할 수 있다.

본 연구를 통하여 저자는 변형된 형태의 수술용 중간 교합장치의 정확도가 전통적 형태의 CAD/CAM 수술용 교합장치의 정확도와 비교하여 우위에 있지 않음을 확인할 수 있었다. 그러나 앞서 언급한 대로 수술 준비과정에서의 오류나 하악 과두의 위치 오류 등이 존재할 경우에 있어서 modified intermediate wafer의 임상적 의의를 찾을 수 있을 것이다. 또한 수술 경험이 많지 않은 술자 입장에서는 상악골의 재위치시 필요한 골 삭제량을 정확히 아는 것은 쉽지 않다. 이러한 경우에도 resection guide와 repositioning bar가 장점을 가진다.

본 연구에서는 증례 수가 각 그룹당 10명으로 적은 편이었으며, 각 landmark에서의 오차가 아닌 전체 골 표면적에서의 오차를 측정하였다. 더 많은 증례를 통한 정확도 연구가 필요하다고 사료되며, 결과에서 나타난 대로

modified intermediate wafer의 정확도의 우수성을 확인하지는 못하였으나 적절한 환자 선택(심한 비대칭이 있는 환자나 CO-CR discrepancy가 있는 경우 등)과 함께 사용된다면 충분히 임상적 의의를 가질 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 두 가지 형태의 CAD/CAM을 이용하여 제작한 악교정 수술용 교합장치의 정확도를 비교하고자 하였으며, 총 20명의 환자(conventional group 10명, modified group 10명)을 대상으로 하여 술전 가상 수술 입체 영상 모델과 실제 술후 1개월의 입체 영상 모델을 중첩, 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전통적 형태의 CAD/CAM 장치를 사용한 군에서는 상악골의 경우 두 입체 영상 모델이 평균 0.78mm(표준 편차 0.13mm)의 표면 거리 차이를 보였으며, 평균 66.4%의 면적이 1.0mm 이내의 차이를 보였다. 전체 10명 중 한 명(97.9%)을 제외하고는 모두 2.0mm 이내의 차이를 나타냈다. 하악골에서는 평균 0.93mm(표준 편차 0.34mm)의 오차를 보였다.
2. 변형된 형태의 CAD/CAM 장치를 사용한 군에서는 상악골의 경우 평균 0.77mm(표준 편차 0.08mm)의 표면 거리 차이를 보였으며, 평균 68.3%의 면적에서 1.0mm 이내의 차이를 보였다. 전체 10명 중 한 명(99.5%)을 제외하고는 모두 2.0mm 이내의 차이를 보였다. 하악골에서는 평균 1.21mm(표준 편차 0.24mm)의 오차를 보였다.

3. 두 군간의 차이는 상악골과 하악골 모두에서 통계적으로 유의하지 않았다.

이상의 결과를 통하여, 저자는 CAD/CAM 기술을 이용한 두 가지 형태의 악교정 수술용 교합장치가 모두 양호한 정확도를 보이며, 두 장치간의 정확도는 유의할만한 차이가 없다는 것을 확인하였다. 변형된 형태의 장치는 장치의 접합을 위해 수술 시 더 넓은 범위의 연조직 박리가 필요하지만 외부계측법을 위한 K-wire 삽입이 필요없다는 장점이 있으며, 술전 교합 채득 시에 발생할 수 있는 오류를 상쇄시킬 수 있고 하악골 과두의 위치 오류에 의한 문제도 해결할 수 있다. 또한 복잡한 상악골의 이동이 필요한 경우에 통상적 방법보다 해부학적으로 안정적인 구조물에 기준을 둘 수 있어 장점을 가질 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

Bai S, Shang H, Liu Y, Zhao J, Zhao Y. Computer-aided design and computer aided manufacturing locating guides accompanied with prebent titanium plates in orthognathic surgery: J Oral Maxillofac Surg 70: 2419-2426, 2012.

Centenero SA, Hernandez-Alfaro F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results-Our experience in 16 cases. J Craniomaxillofac Surg 40: 162-168, 2012.

Cousley R, Turner M. Digital model planning and computerized fabrication of orthognathic surgery wafers. J Orthod 41: 38-45, 2014.

Ellis E 3rd. Accuracy of model surgery: evaluation of an old technique and introduction of a new one: J Oral Maxillofac Surg 48(11): 1161-7, 1990.

Eufinger H, Wehmoller M, Machtens E. Individual prostheses and resection templates for mandibular resection and reconstruction: *Br J Oral Maxillofac Surg* 35(6): 413–8, 1997.

Ferguson JW, Luyk NH. Control of vertical dimension during maxillary orthognathic surgery: *J Craniomaxillofac Surg* 20: 333–336, 1992.

Hsu SS, Gateno J, Bell RB, Hirsch DL, Markiewicz MR, Teichgraeber JF et al. Accuracy of a computer–aided surgical simulation protocol for orthognathic surgery: a prospective multicenter study: *J Oral Maxillofac Surg* 71: 128–42, 2013.

Juergens P, Krol Z, Zeilhofer HF, Beinemann J, Schicho K, Ewers R, Klug C. Computer simulation and rapid prototyping for the reconstruction of the mandible: *J Oral Maxillofac Surg* 67(10): 2167–70, 2009.

Kretschmer WB, Zoder W, Baciut G, Bacuit M, Wangerin K. Accuracy of maxillary positioning in bimaxillary surgery: *Br J Oral Maxillofac Surg* 47: 446–449, 2009.

Kwon TG, Choi JW, Kyung HM, Park HS. Accuracy of maxillary repositioning in two-jaw surgery with conventional articulator model surgery versus virtual model surgery: *Int J Oral Maxillofac Surg* 43: 732–738, 2014.

Li B, Zhang L, Sun H, Yuan J, Shen SG, Wang X. A novel method of computer aided orthognathic surgery using individual CAD/CAM templates: a combination of osteotomy and repositioning guides: *Br J Oral Maxillofac Surg* 51: e239–e244, 2013.

Marchetti C, Bianchi A, Bassi M, Gori R, Lamberti C, Sarti A. Mathematical modeling and numerical simulation in maxillo-facial virtual surgery (VISU): *J Craniofac Surg* 17(4): 661–7, 2006.

Marko JV. Simple hinge and semiadjustable articulators in orthognathic surgery: *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 90(1): 37–44, 1986.

Mazzoni S, Bianchi A, Schiariti G, Badiali G, Marchetti C. Computer-aided design and computer-aided manufacturing cutting guides and customized

titanium plates are useful in upper maxilla waferless repositioning: *J Oral Maxillofac Surg* 73: 701–707, 2015.

Metzger MC, Hohlweg–Majert B, Schwarz U, Teschner M, Hammer B, Schmelzeisen R. Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three–dimensional printer: *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 105: e1–e7, 2008.

Schouman T, Rouch P, Imholz B, Fasel J, Courvoisier D, Scolozzi P. Accuracy evaluation of CAD/CAM generated splints in orthognathic surgery: a cadaveric study: *Head Face Med* 25: 11–24, 2015.

Song KG, Baek SH. Comparison of the accuracy of the three–dimensional virtual method and the conventional manual method for model surgery and intermediate wafer fabrication: *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 107: 13–21, 2009.

Swennen GR, Mommaerts MY, Abeloos J, De Clercq C, Lamoral P, Neyt N, Casselman J, Schutyser F. A cone–beam CT based technique to

augment the 3D virtual skull model with a detailed dental surface: *Int J Oral Maxillofac Surg* 38(1): 48–57, 2009.

Tucker S, Cevidanes LH, Styner M, Kim H, Reyes M, Proffit W, Turvey T. Comparison of actual surgical outcomes and 3-dimensional surgical simulations: *J Oral Maxillofac Surg* 68: 2412–2421, 2010.

Zinser MJ, Mischkowski RA, Sailer HF, Zoeller JE. Computer-assisted orthognathic surgery: feasibility study using multiple CAD/CAM surgical splints. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 113: 673–687, 2012.

Zinser MJ, Zoeller JE. Computer-Designed splints for surgical transfer of 3D orthognathic planning. *Facial Plast Surg* 31(5): 474–90, 2015.

Abstract

Accuracy evaluation of CAD/CAM generated wafers in orthognathic surgery: Comparison study with conventional and modified intermediate wafer

Yong-Bin Lee

Department of Dentistry

The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor Hwi-Dong Jung, D.D.S., Ph.D.)

In this study, the author compared two different types of CAD/CAM generated wafers to evaluate the accuracy. Twenty patients who had undergone bimaxillary orthognathic surgery were included : ten patients with conventional CAD/CAM generated intermediate wafer and the others with modified CAD/CAM generated intermediate wafer. A series of CT images was taken to compare the virtual simulation with postoperative CT(after 1 month). In conventional group, the mean difference of maxilla

between the virtual simulation model and the postoperative result was 0.78mm and overall average error within 1mm was observed in 66.4% of repositioned maxilla. The maximum error was within 2.0mm except only one patient(97.9%). In mandible, the mean difference was 0.93mm. In modified group, the mean difference of maxilla was 0.77mm and overall average error within 1mm was observed in 68.3% of repositioned maxilla. The maximum error was within 2.0mm except only one patient(99.5%). There was no significant difference between two groups in both maxilla and mandible.

As a result of above, we confirmed the excellent accuracy CAD/CAM generated wafers and the difference between the two types of wafers was not significant. With the use of modified CAD/CAM generated wafer, there is no need for K-wire insertion for external measurement and the errors related to the condylar position could be solved. In addition, modified CAD/CAM wafer technique provides advantage in case of complex maxillary repositioning because stable anatomic structure is used as reference for maxillary repositioning.

Key words : Orthognathic surgery, CAD/CAM, Intermediate wafer, Accuracy