



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](#)

유리 피판술을 동반한 하악골 재건 시
동시 식립한 임플란트의 정확성

연세대학교 대학원

치 의 학 과

주 은 태

유리 피판술을 동반한 하악골 재건 시 동시 식립한 임플란트의 정확성

지도교수 김 형 준

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2024년 6월

연세대학교 대학원

치 의 학 과

주 은 태

주은태의 석사학위 논문을 인준함

심사위원 김형준 인

심사위원 김동욱 인

심사위원 김재영 인

연세대학교 대학원

2024년 06월

감사의 글

먼저 항상 변함없는 사랑과 관심으로 돌봐주시며 물심양면으로 지원해 주시는 부모님께 감사드립니다. 석사 과정 4학기 동안 부족한 저를 세심한 지도와 많은 가르침으로 이끌어 주신 김형준 교수님께 진심으로 감사드립니다. 더불어, 많은 관심과 조언으로 논문을 보완해주신 김재영 교수님, 김동욱 교수님, 김현민 선생님께도 깊이 감사드립니다. 그리고 구강악안면외과 수련 과정 동안 따뜻한 말씀과 가르침 주신 차인호 교수님, 이상휘 교수님, 정영수 교수님, 남웅 교수님, 박진후 교수님, 김준영 교수님, 조현미 선생님, 김민지 선생님께도 감사의 말씀을 전합니다.

마지막으로 3년의 구강악안면외과 수련 기간 동안 함께해준 동기 노태호, 박해인, 신기범, 조정민 그리고 의국 선후배님들에게도 고마움을 전합니다.

2024 년 6 월
주 은 태

차 례

국 문 요 약	v
I. 서 론	1
II. 연구 대상 및 방법	3
1. 연구 대상	3
2. 연구 방법	5
(1) 가상 수술 계획 (Virtual surgical planning)	5
(2) 수술 과정	7
(3) 임시 보철물 제작 및 적용	7
(4) 결과 분석	9
(5) 통계 분석	9
III. 결과	12
1. 환자 분석	12
(1) 연령 및 성별	12
(2) 병인	12
(3) 하악골 결손부의 크기, 부위 및 위치	12
(4) 공여부 골 분할 수	12
2. 정확성	15
(1) 임플란트 상단부간의 거리	15
(2) 임플란트 장축간의 각도차	15
3. 일원 분산 분석 – 영향 인자 분석	19

IV. 고찰	21
V. 결론	25
참고문헌	26
Abstract	30

표 차례

Table 1. 연구대상의 임상적, 병리학적 지표	13
Table 2. 임플란트 상단부간의 거리 및 장축간의 각도차	16
Table 3. 정확도에 영향을 미치는 요인	20

그림 차례

Figure 1. 연구 대상 환자 선택 모식도	4
Figure 2. 비골 절단 가이드의 모식도	6
Figure 3. 임시 보철 모형 및 임상 적용	8
Figure 4. 가상 수술 계획과 술 후 영상의 중첩 모형	10
Figure 5. 거리 및 각도 측정 모식도	11
Figure 6. Brown의 하악골 결손 분류	14
Figure 7. 상단부간의 거리 및 장축간의 각도차 기반 모식도 ...	18

국 문 요 약

유리 피판술을 동반한 하악골 재건 시 동시 식립한 임플란트의 정확성

<지도교수 : 김 형 준>

연세대학교 대학원 치의학과

주 은 태

분절 하악골 절제술을 시행한 하악골의 재건에는 비골 유리 피판과 유리 장골 판이 주로 사용되며, 악성 종양으로 인한 경우, 수술과 방사선 치료가 병행되는 경우가 대부분이기에 해당 부위에 추후 임플란트를 식립할 시 방사선 골 괴사 현상이 발생할 수 있다. 방사선 골 괴사의 가능성을 낮출 수 있는 유일한 시점이기에 유리 피판술 시행 시 동시에 임플란트를 식립하는 개념이 대두되었고, 가상 수술 계획 및 3D 프린팅 가이드를 이용하여 시행되고 있다. 유리 피판에 임플란트를 동시 식립할 시 공여부에서 식립되기에 정확도에 대한 고찰이 필요해왔다.

이에 저자는 유리 피판을 이용한 하악골 재건 시 즉시 식립한 임플란트의 정확성을 평가하기 위하여 2023년 3월부터 2024년 1월까지 연세대학교 구강악안면외과에서 유리 피판술과 동시 임플란트 식립 수술을 받은 환자 16명 중 배제 기준에 해당하는 4명을 제외한 12명의 임플란트 고정체 40개에 대해 수술 전 계획 모형과 수술 후 모형을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 임플란트 상단부간의 거리는 최소값 0.67mm, 최대값 3.88mm, 평균 1.91mm (SD 0.88mm) 값을 보였고, 장축간의 각도차는 최소값 1.67°, 최대값 5.65°, 평균 3.69° (SD 1.09°) 값을 보였다.

2. 하악골 결손부의 크기, 부위 및 위치, 골 분할 수, 병인, 재건 시 이용한 공여부 등의 요인에 따라 일원 분산 분석을 통해 정확도에 영향을 미치는 요인에 대한 분석 결과, 통계적으로 유의미한 요인은 없었다.

오차의 범위가 임상적으로 수용할 수 있으며, 하악 결손부의 크기, 부위 및 위치, 골 분할 수, 병인 등의 요인들은 정확성에 차이를 나타내지 않았기에, 가상 수술 계획의 정확성과 재현성을 입증하며, 다양한 요인에도 불구하고 임플란트 식립이 안정적으로 이루어질 수 있음을 시사한다. 추후 임상가들이 수술을 시행할 때 참고할 수 있는 정보가 될 것으로 사료된다.

핵심되는 말 : Jaw-In-A-Day, 비골 유리 피판, 즉시 임플란트 식립, 정확성

유리 피판으로의 하악골 재건 시 즉시, 동시 임플란트 식립 수술에서의 가이드 수술의 정확성

<지도교수 : 김 형 준>

연세대학교 대학원 치의학과

주 은 태

I. 서 론

암조직을 외과적으로 절제해내는 방법은 구강암 치료에 가장 우선 이용되는 방법이다(Montero & Patel, 2015). 수술적 치료를 시행할 때, 적절한 종양의 절제연을 확보하는 것이 중요하기에, 하악골까지 이환된 구강암에 대한 외과적 절제술 시행 시 분절 하악골 절단술에 대한 고려가 필요하다(Varvares et al., 2015; Gou et al., 2018). 분절 하악골 절단술 시행 시 외관 파괴는 물론, 기능장애가 현격하여, 하악골의 연속성을 유지시키기 위한 술식이 필요하며, 재건을 위해 골을 포함한 형태의 유리 피판술인 비골 유리 피판(Fibular Free Flap), 유리 장골판(Deep Circumflex Iliac Artery flap) 등이 흔히 사용되고 있다(Takushima et al., 2001; Kumar et al., 2016).

악성 종양으로 인해 분절 하악골 절제술을 받는 환자들은 수술만 시행하거나, 방사선요법 단독으로 치료할 경우 국소 효과가 불량하므로, 수술적 절제와 동반하여 방사선 치료 요법을 받는 것이 일반적이다(Zanoni et al., 2019). 하지만 방사선 치료를 받은 부위는 방사선골괴사의 발생률 역시 높아지게 된다(Chronopoulos et al., 2018).

방사선골괴사는 방사선 조사 부위에 발치나 임플란트와 같은 외과적 처치 후에 발생할 확률이 높은 것으로 알려져 있다(Marx, 1983). 이에 재건술 이후 방사선

조사를 받은 부위에 대해 가철성 국소의치, 총의치 등을 활용하여 저작 기능을 회복하여 왔으나 환자들의 만족도가 높지 않다는 단점이 있어, 임플란트 식립 여부 및 시기에 대한 많은 논의가 있어 왔다(Alberga et al., 2021). 그럼에도 불구하고, 저작 기능을 가능한 빠르게 회복시키는 것이 환자의 삶의 질과 직접적으로 연관되기에, 임플란트 식립 시기를 앞당길 수 있는 방법들에 대한 필요성이 요구되어 왔다(Barrowman et al., 2011).

기술의 발달에 따라 컴퓨터를 이용한 3차원적 수술 계획을 수립하는 가상 수술 계획(Virtual surgical planning, VSP)의 효용성이 대두되고 있으며, 실제 수술에서 가상 수술 계획 및 3D 프린팅한 가이드를 사용하는 것이 가능해졌다(Rustemeyer et al., 2015). 이에 분절 하악골 절제술 시 유리 피판술을 시행함과 동시에 임플란트를 즉시 식립하고, 임시 보철물까지 장착하는 ‘Jaw-In-A-Day’(이하 JIAD) 수술이 시행되고 있으며, 기존 방식에 비해 더 빠른 시기에 저작 기능을 회복할 수 있게 되었고, 구강 기능의 회복을 위한 방사선 치료 이후 추가적인 수술의 필요성을 줄일 수 있게 되었다(Levine et al., 2013; Schepers et al., 2013; Patel et al., 2019). JIAD 수술에서는 공여부에서 임플란트를 식립한 이후 피판을 채취하는 방식을 사용하며, 이에 따른 가이드를 바탕으로 식립된 임플란트의 구강 내에서의 정확도에 대한 고찰이 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 유리 피판을 활용한 하악골 재건에서 가이드를 이용하여 즉시 식립한 임플란트의 정확도를 평가하였다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

2023년 3월부터 2024년 1월까지 연세대학교 치과대학병원 구강악안면외과에서 단일 술자에 의해 임플란트 즉시 식립을 동반한 유리 피판으로의 하악골 재건 수술을 시행한 환자 16명의 임플란트 고정체 60개를 후향적으로 검토하였다. 포함 기준은 다음과 같았다.

- 1) Computer-aided system을 이용하여 가상 수술 계획을 수립한 경우
- 2) 환자 맞춤의 재건 금속판을 사용한 경우
- 3) 임플란트 즉시 식립을 시행한 경우

비교의 정확성을 위해 하기 항목들은 배제하였다.

- 1) 가상 수술 계획을 통해 제작된 STL 파일이 유실된 경우 (환자 수 = 3, 고정체 수 = 13)
- 2) 술 후 전산화단층 영상이 없는 경우 (환자 수 = 1, 고정체 수 = 7)

16명의 환자 중 위 조건을 만족하는 경우는 12명이었고 임플란트 고정체는 40개였다. 이식된 유리 피판 내의 임플란트의 위치 및 정확도를 측정하기 위해 수술 후 전산화단층 영상을 촬영하였다. 연구 대상 선정에 대한 모식도를 Figure 1에 요약하였다.

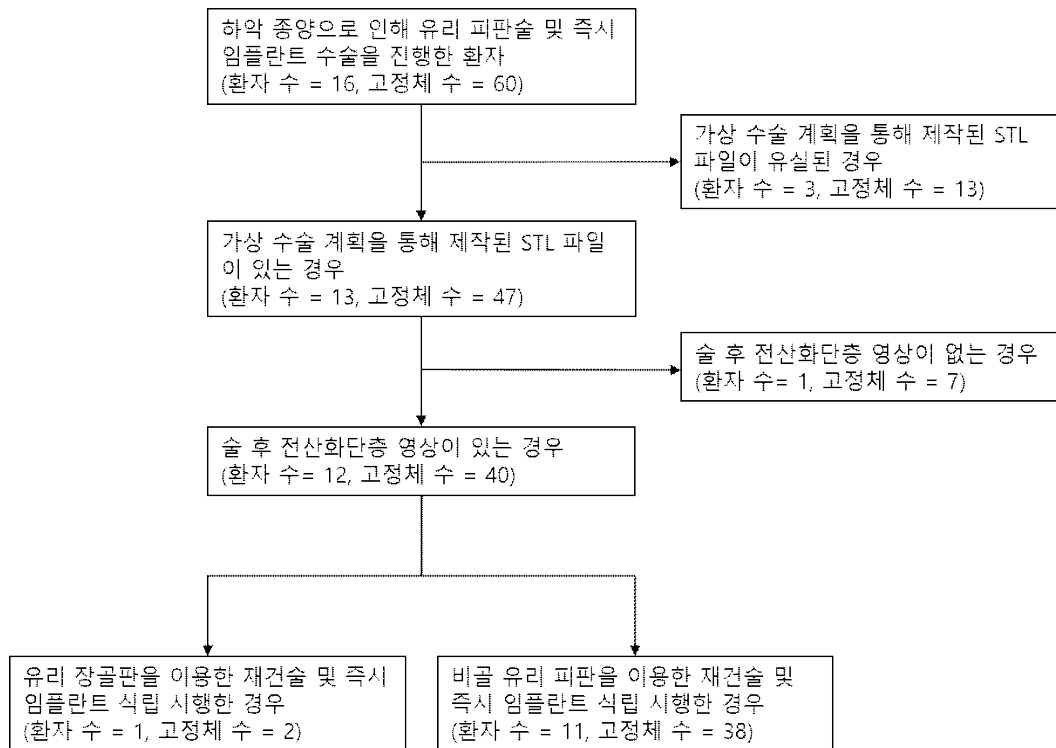


Figure 1. 연구 대상 환자 선택 모식도

2. 연구 방법

2.1. 가상 수술 계획(Virtual Surgical Planning)

모든 환자는 악골의 전산화단층영상 및 하지의 3D 혈관조영술 전산화단층영상을 촬영하였으며, 두 가지의 영상을 바탕으로 3D slicer 5.2.2 (The slicer Community, <http://www.slicer.org>)를 사용하여 결손부에 대한 재건을 가상으로 계획하였다. 그 후, Meshmixer v3.5 (Autodesk Inc, America)를 사용하여 임플란트 고정체를 하악골 및 유리 피판 결합체에 위치시켰다. 계획 과정에서 하악골의 절제 평면은 구강악안면외과 의사의 임상 판단을 기반으로 설정되었고, 환자의 치열 및 해부학적 구조의 3D 모형을 바탕으로 유리 피판의 골 분절 및 임플란트 고정체의 위치를 결정하였다.

이후 하악골 절단 가이드를 설계하였고, 가이드 상에는 하악골 절단 위치에 대한 정보 외에도 플레이트의 고정을 위한 스크류 홀의 위치에 대한 정보 역시 포함하였다. 유리 피판 채득을 위한 비골 및 장골 절단 가이드는 임플란트 식립을 위한 가이드 홀과 플레이트의 스크류 고정을 위한 드릴링 홀을 포함하여 설계되었다(Fig. 2). 이 가이드는 가상 계획상 뼈 표면으로부터의 일정한 유격을 가지고 골막에 배치될 수 있도록 설계되었고, 티타늄을 재료로 하여 출력하였다.

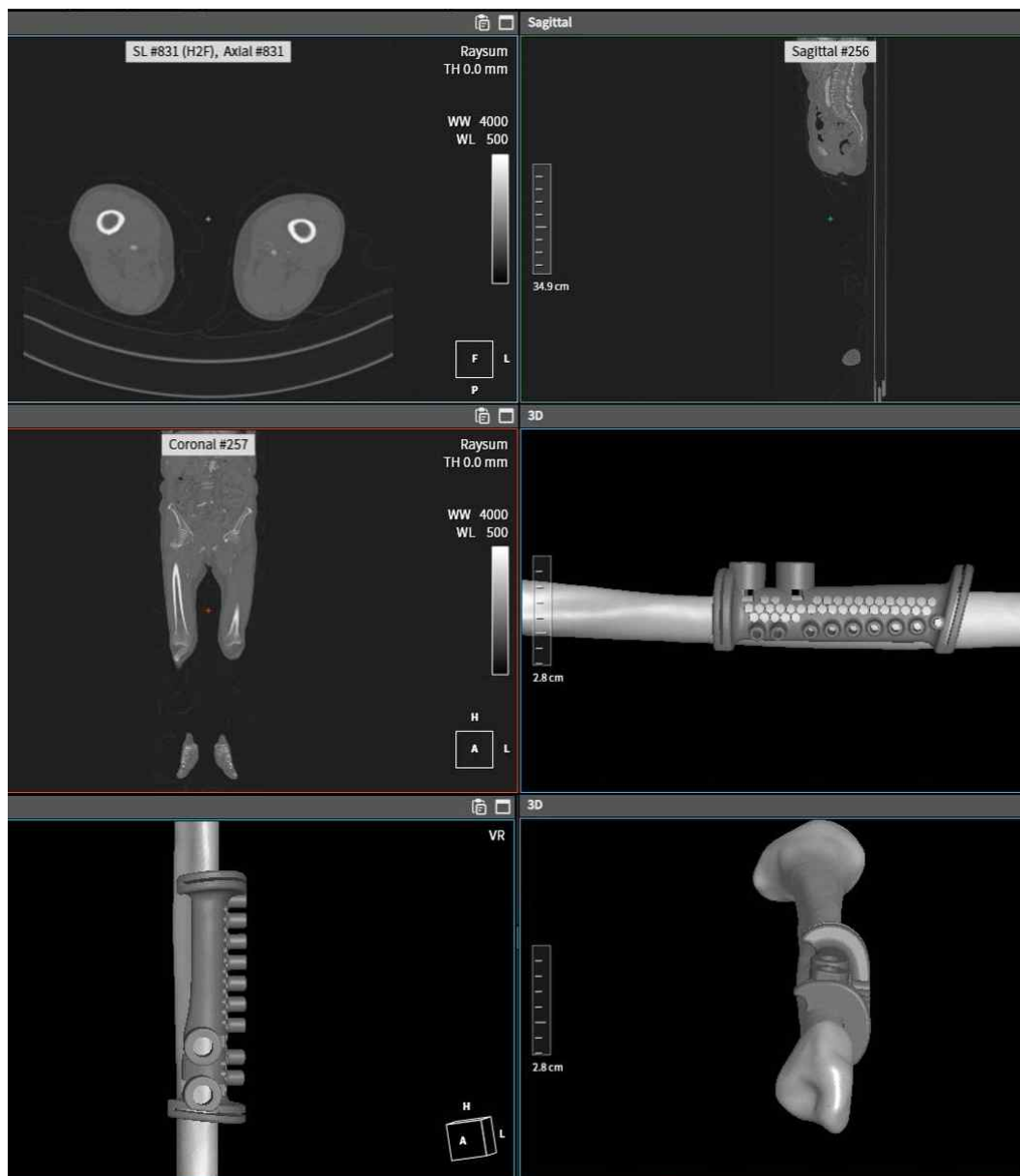


Figure 2. 온라인기반 논의를 통해 제작된 비골 절단 가이드의 모식도

2.2. 수술 과정

첫 번째로, 하악골의 종양을 제거하기 위해 사전 제작된 하악골 절단 가이드를 이용하여 분절 하악골 절제술을 시행하였다. 둘째, 유리 피판을 채취하여 절제된 턱뼈로 이식하였다. 채득할 피판 부위가 노출되면 가이드를 위치시킨 이후 나사로 고정하였다. 이후, 비골 절단 가이드를 기반으로 One guide® 시스템(Osstem Implant Co., seoul, Korea)을 활용하여 임플란트 고정체를 식립하였고 상부에는 Multi-unit abutment를 고정 및 임시 실린더를 결합하였다. 일반적으로, 비골은 두꺼운 피질골을 갖기에 식립된 임플란트의 안정성이 높기 때문에 이중 피질 드릴링의 필요성을 느끼지 않아, 10mm 길이와 4mm 지름의 임플란트를 사용하였다(Schepers et al., 2015). 그 다음 단계에서는 가이드를 사용하여 비골을 분절로 자르는 작업을 수행하였고, 모든 분절의 혈관 공급을 보장하기 위해 골막을 보존하였다. 분절된 비골은 미리 계획된 하악 모형의 재현성을 확인하기 위해 플레이트를 사용하여 제작된 모델에서 적합하였으며, 이 단계까지는 유리 피판의 혈관이 끊어지지 않은 채 보존되어 혈액 공급이 유지되도록 하였다. 마지막으로 채득한 유리 피판을 종양이 절제된 하악골에 플레이트를 이용하여 고정하였으며, 이때 기존 하악골 절제 시 형성하였던 드릴링 홀과 유리 피판에서 형성하였던 드릴링 홀을 사용하여 플레이트를 적합하였다.

2.3. 임시 보철

수술 전 환자의 악궁을 인상 채득하여 환자의 치열 모형을 획득하였으며, 3D scanner를 이용하여 치열 모형을 STL 파일로 변환하였다. 이후 Meshmixer를 사용하여 가상수술에서 계획된 임플란트 상으로 위치시켰고, 대합되는 치열 고려하여 형태를 조정하였다. 이후 고정체 상부에 결합되는 Multi-unit abutment 형태를 고려하여 구멍을 형성한 후 3D로 임시 보철 모형을 출력하였다. 구멍을 형성할 때 임플란트의 식립 오차를 고려하여, Multi-unit abutment보다 약간 크게 형성하였다(Fig 3A). 배치 가이드를 포함한 형태의 임시 보철물을 레진을 이용하여 임시 실린더와 고정하였으며, 제거 후 연마하였다(Fig 3B).



Figure 3. (A) 임시 보철물 제작을 위한 STL의 모식도 및 (B) 수술 시 적용 사진

2.4 결과 분석

수술 후 4-6주 경과 시점에 수술의 정확성 확인 및 보조항암방사선 요법의 계획 등을 목적으로 전산화단층 영상을 촬영하였다. 임플란트 식립 및 공여부(비골, 장골) 골 절단 가이드 제작에 사용된 3차원 모형과 수술 후 촬영한 전산화단층 영상을 재건한 모형을 Mimics software(Materialise, Leuven, Belgium)를 사용해 중첩하였다. 중첩 시 하악골 절제에 영향을 받지 않은 부분들, 남은 하악골의 큰 부분 및 고정판을 바탕으로 중첩 시행하였으며, 술 전 하악골과 유리 피판의 결합 모형의 외연과 술 후 적용된 플레이트의 내연이 가장 이상적으로 위치되게 하였다(Fig.4). 이후 임플란트 고정체의 1) 상단부간의 거리, 2) 장축간의 각도차를 측정하였다(Fig.5).

2.5 통계 분석

통계 분석은 SPSS software(ver 29.0 for windows; SPSS Inc, Chicago, IL)를 이용하여 시행하였고, 정확성에 영향을 미치는 요인들에 대해 일원 분산 분석을 사용하여 검증하였다. 유의수준은 $P < 0.05$ 로 설정되었다.

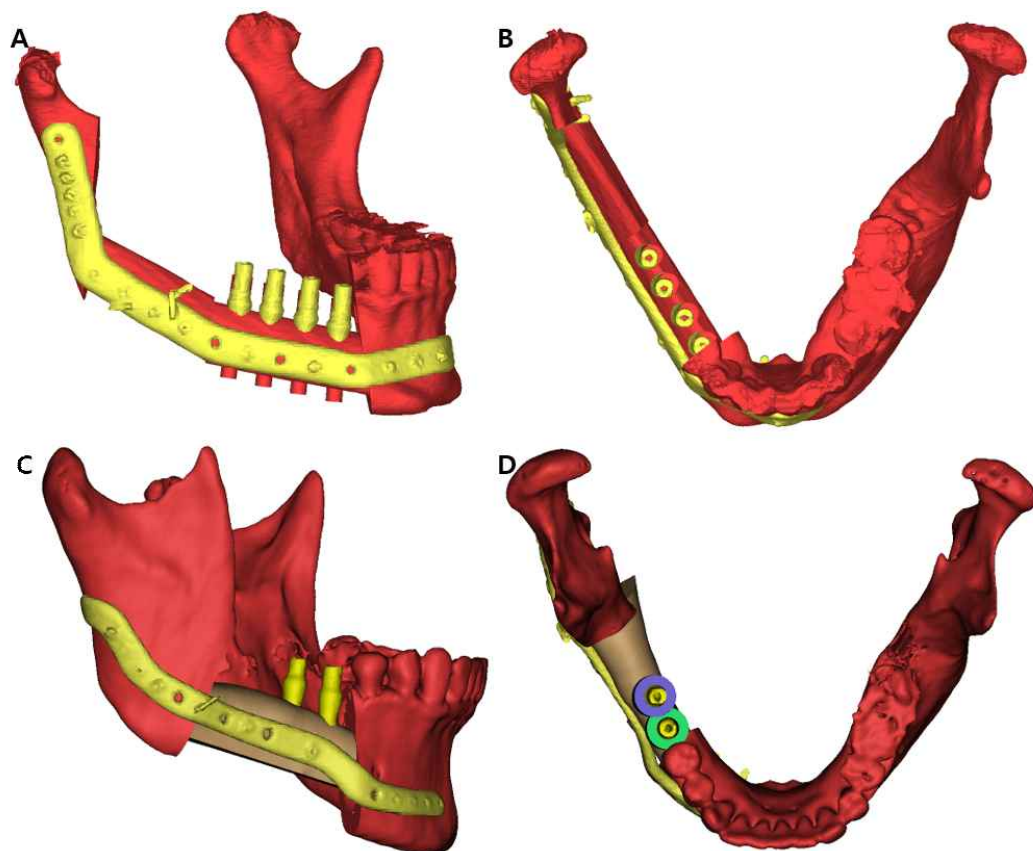


Figure 4. 가상 수술 계획 상 STL과 술 후 CT를 기반으로 제작한 STL의 중첩 모형
 (A, B) : 비골 유리 피판으로 재건한 경우, 붉은색은 가상 수술 계획 상의 STL 파일
 이며, 노란색은 술 후 영상 중 산란 효과에 의한 오차를 최소화하기 위해 고정판 부
 분과 임플란트 고정체만 잔존시킨 모습, (C, D) : 장골 유리 피판으로 재건한 경우

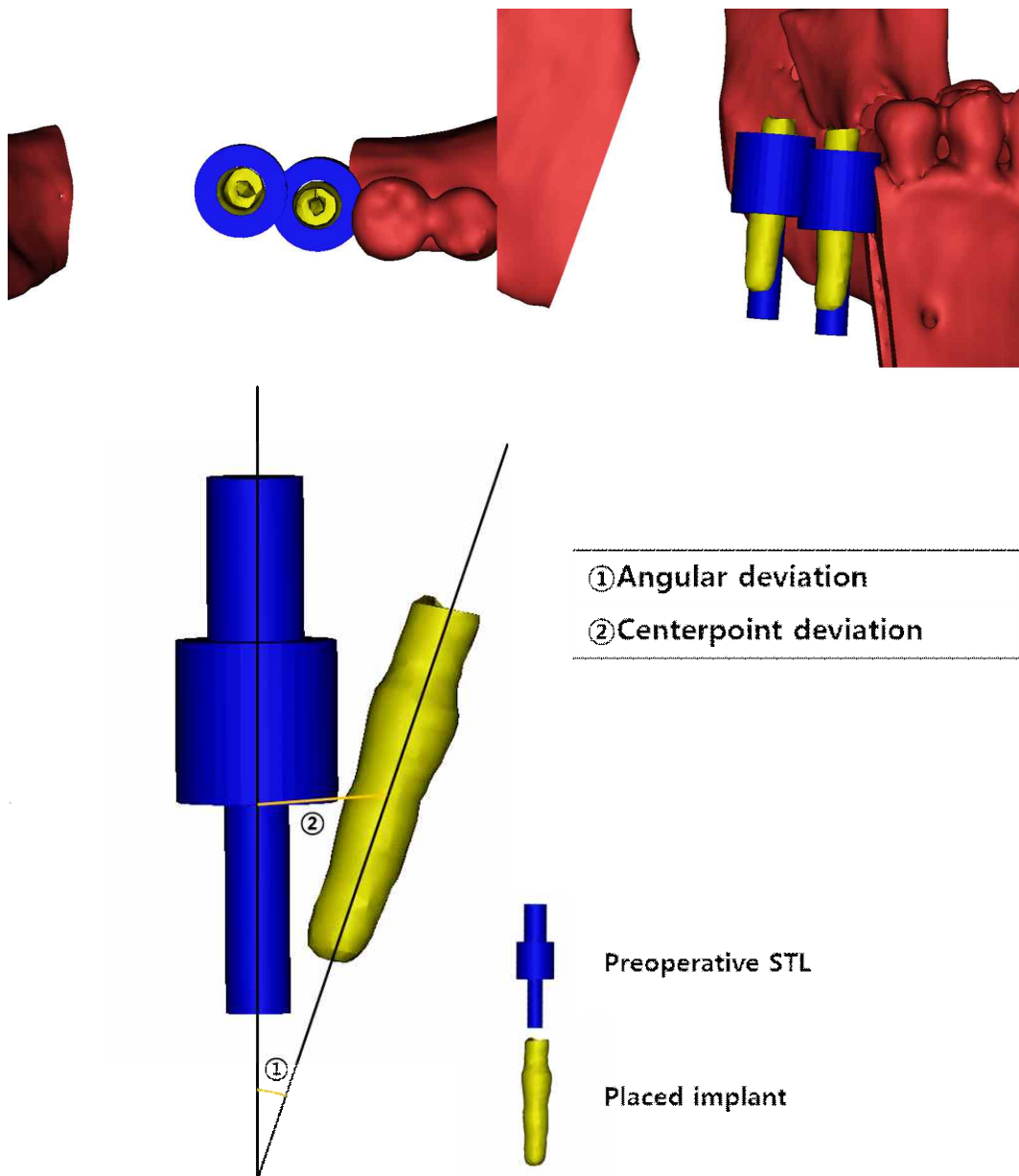


Figure 5. 임플란트 상단부간의 거리, 장축간의 각도차 측정 방법을 묘사한 모식도

III. 결과

1. 환자 정보

2023년 3월 부터 2024년 1월까지 유리 피판술과 동반한 즉시 임플란트 식립을 시행한 16명의 환자 중 언급된 기준을 만족하는 12명의 환자를 대상으로 하였다.

(1) 연령 및 성별

12명의 환자 중 8명은 남자였고, 4명은 여자였으며, 연령은 28세부터 82세로 평균은 55.9세 였다.

(2) 병인

모두 하악골의 종양으로 인해 수술을 진행하였고, 종양은 편평세포암종이 가장 많았으며($n=6$, 50%), 다음으로 범랑모세포종($n=3$, 25%), 일차 골내 암종, 갑상선 유두상 암종의 전이암, 포상 세포 암종이 각각 한 증례($n=1$, 8.3%) 씩 해당하였다.

(3) 하악골 결손부의 크기, 부위 및 위치

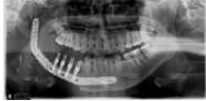
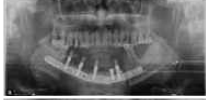
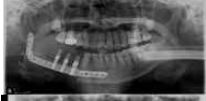
하악골 결손부의 크기는 평균 66.9cm 였으며, 부위 및 위치는 Brown's classification(Fig.6)에 따라 분류하였다(Brown et al., 2016).

(4) 공여부 골 분할 수 (Number of segmentation)

공여부 골 분할 수는 최소값 1부터 최대값 3으로 평균 1.73의 수치를 보였다.

환자에 대한 정보는 Table 1에 요약하였다.

Table 1. 연구대상의 임상적, 병리학적 지표

환자		나이	성별	병인	하악골 결손		골 분할 수
					부위 (Brown 분류)	길이 (Cm)	
1		42	남	범랑모세포종	III	8.18	3
2		28	남	갑상선 유두상 암종의 전이암	I	7.25	2
3		60	남	일차골내암종	I	5.56	1
4		60	남	범랑모세포종	III	8.17	3
5		43	여	편평세포암종	I	5.68	1
6		62	여	편평세포암종	I	6.46	2
7		82	남	편평세포암종	I	6.11	1
8		60	여	포상세포암종	I	6.14	1
9		65	남	편평세포암종	I	6.77	1
10		76	남	편평세포암종	I	6.24	1
11		39	여	범랑모세포종	I	3.72	1
12		54	남	편평세포암종	I	6.22	1

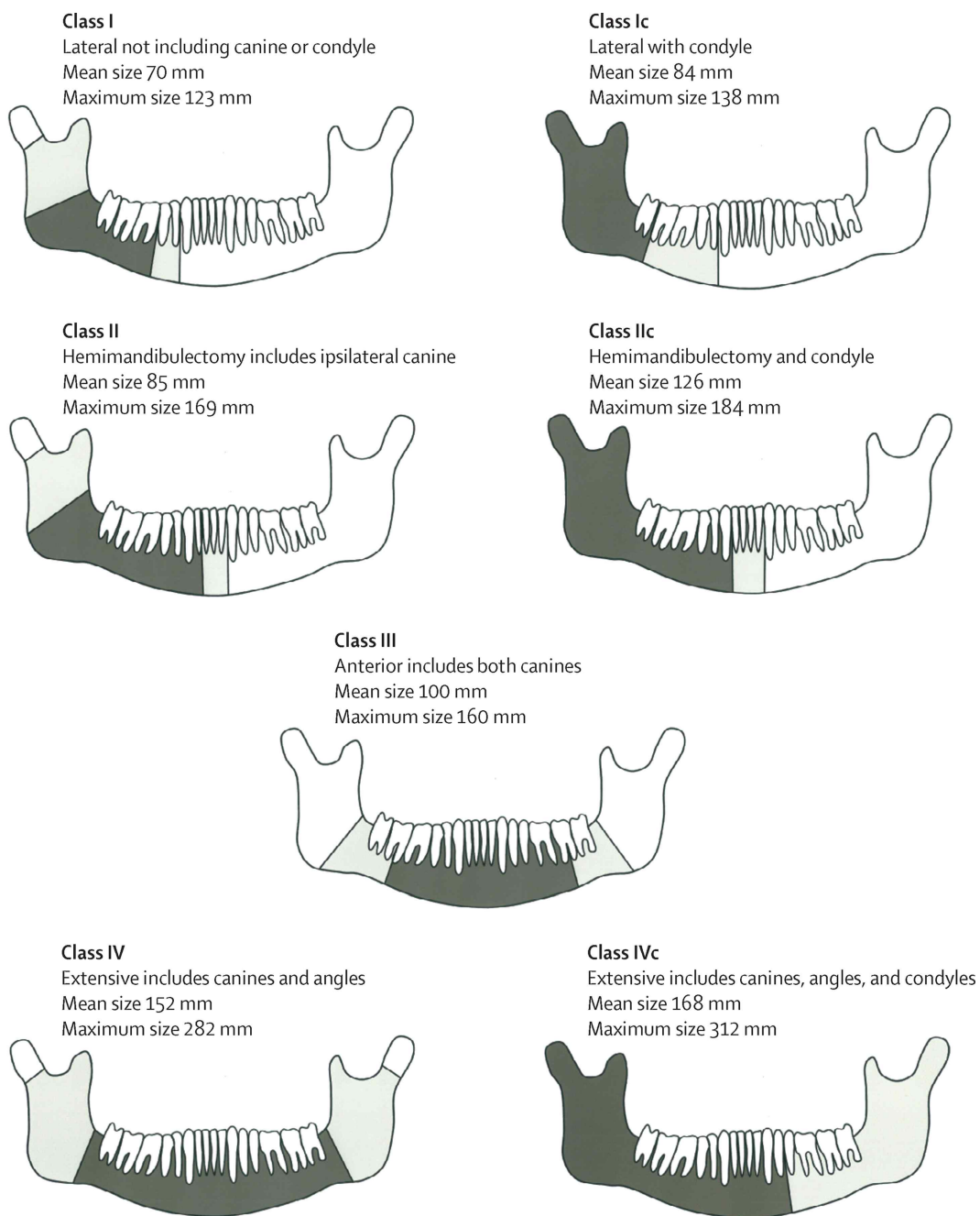


Figure 6. Brown의 하악골 결손 분류

2. 정확도 분석

(1) 임플란트 상단부간의 거리

가상 수술 계획에서와 술 후 영상에서의 상기 지표를 비교하였고, 최소값 0.67mm, 최대값 3.88mm를 가졌고, 평균 1.91mm (SD 0.88mm) 값을 보였다.

(2) 임플란트 장축간의 각도차

가상 수술 계획에서와 술 후 영상에서의 상기 지표를 비교하였고, 최소값 1.67°, 최대값 5.65°를 가졌고, 평균 3.69° (SD 1.09°) 값을 보였다.

결과값에 대해 table 2에 요약하였으며, 고정체의 위치와 각도에 따른 분포도를 figure 6에 나타내었다.

Table 2. 임플란트 고정체의 정확도 측정

환자		상단부간의 거리 (mm)	장축간의 각도차 (°)
1	#31	1.64	3.92
	#33	1.52	2.73
	#41	1.54	2.88
	#43	2.72	2.89
	#44	2.12	1.67
	#46	1.80	1.70
2	#44	1.78	3.92
	#45	1.61	3.72
	#46	1.65	3.88
	#47	1.64	3.78
3	#35	3.28	3.84
	#36	3.27	4.12
	#37	3.29	4.40
4	#33	1.62	3.52
	#35	0.94	2.04
	#42	2.91	4.95
	#44	2.50	5.65
	#45	3.88	5.64
5	#45	0.73	4.07
	#46	0.86	2.88
	#47	0.92	3.93

환자		상단부간의 거리 (mm)	장축간의 각도차 (°)
6	#44	1.58	3.40
	#45	1.52	3.23
	#46	1.83	3.02
7	#34	1.46	3.27
	#36	1.22	1.68
8	#45	2.13	5.06
	#46	1.57	5.58
	#47	1.15	4.75
9	#34	2.09	5.47
	#35	1.78	4.32
	#36	1.84	3.78
10	#35	2.69	3.50
	#36	2.44	4.47
	#37	2.34	3.35
11	#46	0.71	1.72
	#47	0.67	2.66
12	#34	1.18	3.92
	#35	1.25	3.39
	#36	1.60	2.98
평균		1.91	3.69
표준편차		0.88	1.09

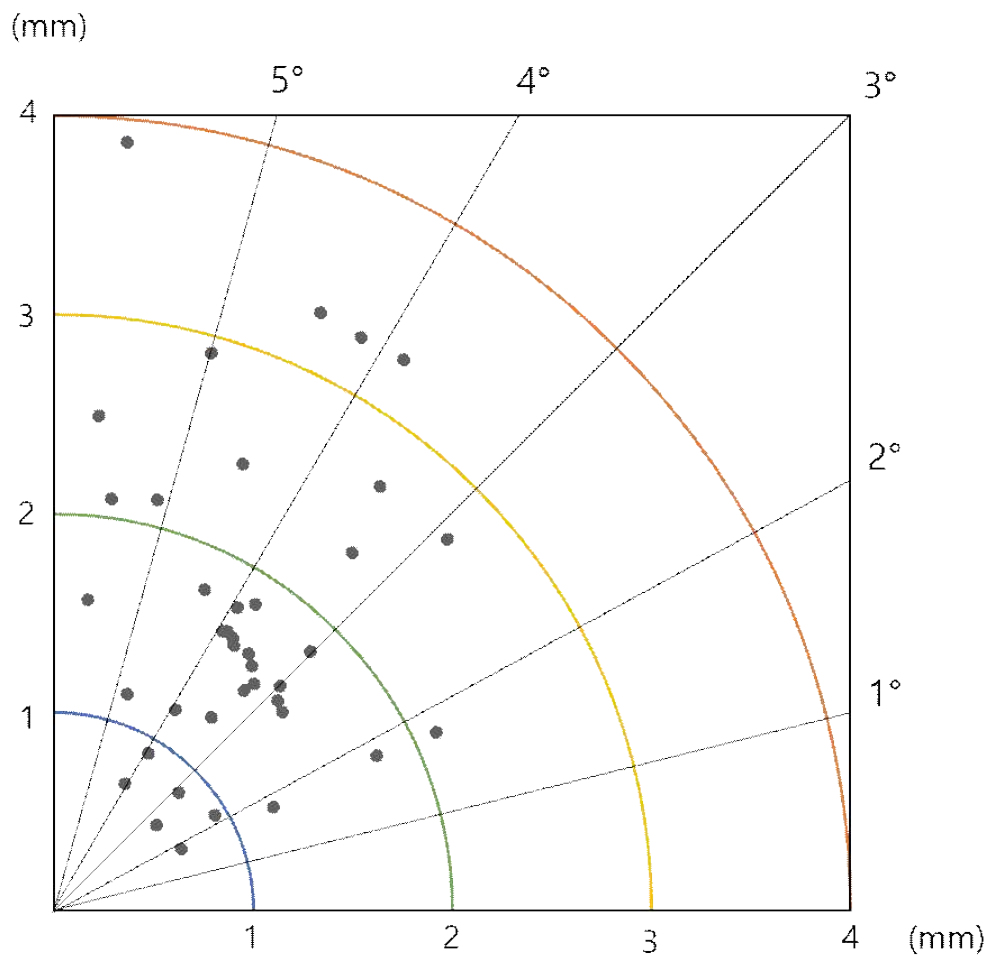


Figure 7. 임플란트 상단부간의 거리 및 장축간의 각도차에 따라 표현한 모식도, 원점에서의 해당 점까지의 거리가 상단부간의 거리, 장축간의 각도차에 따라 위치를 결정하여 오차의 크기를 표현하였다.

3. 일원 분산 분석-영향인자 분석

하악골 결손부의 크기, 부위 및 위치, 골 분할 수, 병인, 재건 시 이용한 공여부 등의 요인에 따라 일원 분산 분석 검정을 통해 정확도에 영향을 미치는 요인에 대한 분석 결과, 통계적으로 유의미한 요인은 없었다.

Table 3. 정확도에 영향을 미치는 요인 분석

	정확도에 영향을 미치는 요인	고정체 수	오차의 평균 ± 표준편차		P-value	
			(mm)	(°)	(mm)	(°)
1	결손부 크기 < 6.5cm	22	1.84 ± 1.03	3.69 ± 0.99	.196	.999
	결손부 크기 ≥ 6.5cm	18	1.98 ± 0.67	3.69 ± 1.24		
2	분할된 골편의 수 < 2	22	1.89 ± 1.03	3.87 ± 1.04	.196	.556
	분할된 골편의 수 ≥ 2	18	1.93 ± 0.68	3.47 ± 1.15		
3	Brown 분류 III (정중선 포함)	11	2.11 ± 0.83	3.42 ± 1.47	.378	.333
	Brown 분류 I (정중선 미포함)	29	1.83 ± 0.90	3.80 ± 0.92		
4	비악성 병인	13	1.89 ± 0.93	3.23 ± 1.43	.935	.091
	악성 병인	27	1.91 ± 0.87	3.92 ± 0.83		
5	장골을 이용한 재건	2	0.69	2.19	-	-
	비골을 이용한 재건	38	1.97 ± 0.85	3.77 ± 1.05		

IV. 고찰

하악골 재건은 얼굴의 심미성, 저작 능력, 언어 능력등을 회복하기 위해 시행되며 정확성을 향상 시키는 것이 항상 도전 과제로 대두되었다(Mathew et al., 2010). 재건술을 시행하는 외과의들은 CAS(컴퓨터 보조 수술)이 전통적인 수술보다 우수한 결과를 제공하며, 비용 역시 크게 차이하지 않는다는 데에 의견을 모으고 있다(Alessandro et al., 2020). 최근에는 기술의 발전에 따라 하악골의 광범위한 골 결손이 예상되는 수술 시 가상 수술 계획을 바탕으로 제작한 가이드를 이용하여 유리 피판에 임플란트를 식립하는 JIAD 수술이 가능해짐에 따라, 유리 피판의 정확성 뿐만 아니라 공여부에서 식립된 임플란트의 정확성에 대한 고찰 역시 필요성이 대두되었다(Levine et al., 2013).

CAD/CAM을 이용한 하악골 재건이 널리 사용되고 그 정확성이 입증되었음에도 불구하고, 식립된 임플란트의 정확성에 대한 연구는 부족한 실정이다. 또한, 그 비교 방법 역시 수술 전후 DICOM 파일의 비교, 수정되지 않은 수술 전 후 STL 파일의 비교, 그리고 가상 수술을 통해 수정된 수술 전 후 STL 파일의 비교 등 다양하여 임플란트의 정확도 측정 또한 명확한 가이드라인이 없다(Sweed et al., 2020). 이러한 다양한 비교 방법은 각각 장단점을 가지고 있으며, 각각의 방법을 통해 얻어지는 결과 역시 서로 다를 수 있다. 이에 따라 정확하고 신뢰할 수 있는 비교를 위해서는 적절한 비교 방법을 선택하고 이를 통해 임플란트의 정확성을 평가하는 것이 필요하다.

Baar 등의 연구에 따르면 정확도 비교를 위한 여러가지 파일 형태 중 STL 간의 비교가 가장 정확하다고 하였다(van Baar et al., 2018). 또한 Huotilainen 등은 소프트웨어를 이용한 중첩은 신뢰할만한 결과를 도출한다고 설명했지만, 금속 재료로 인한 산란 효과와 DICOM을 STL 파일로 전환할 때 불가피하게 발생하는 오류에 대처하기 위해 중첩을 위한 적절한 참고점 설정이 필요하다고 강조하였다(Huotilainen et al., 2014). 이를 위해 Baar 등은 남은 하악의 큰 부분 및 재건판의 표면을 이용하여 중첩을 시행하였다고 하였다. 이러한 연구들을 통해 STL 파일 간의 비교가 신뢰성 있고 정확한 결과를 얻을 수 있는 중요한 방법임이 확인되었으며, 이를 통해 임플란트의 정확성 평가에 있어서 보다 신뢰할 수 있는

정보를 확보할 수 있다. 따라서 이 연구에서도 가상 수술 계획에서 사용된 STL 파일과 수술 후 촬영한 CT를 기반으로 제작된 STL 파일 간의 비교를 수행하였으며, 결과값 도출에 큰 지장이 없었다.

Schepers RH 등은 JIAD 수술에서 비골 유리 피판에 식립된 임플란트 고정체 18개의 정확성을 가상 수술 계획 모형과 수술 후 영상을 바탕으로 평가하고, 고정체 간의 평균 거리가 3.3mm, 평균 각도가 13°임을 보고하였다(Schepers et al., 2015). 그 후속 연구에서는 총의치를 통한 교합을 참고점으로 하여 비골 유리 피판에 식립된 임플란트 39개의 정확성을 평가하였으며, 고정체 간 평균 거리가 2.2mm, 평균 각도가 4.6°임을 확인하였다(Schepers et al., 2016). 또한 Idris 등은 비골 유리 피판에 식립된 임플란트 고정체 23개의 정확성을 x, y, z 축 각각에서 거리를 비교하여 1.5mm, 2.0mm, 1.8mm로 보고하였다(Idris et al., 2022). 본 연구에서는 이와 비교하여 고정체 간 평균 거리가 1.91mm, 평균 각도는 3.69°로 더 정확한 결과값을 보였다.

이 연구에서 이전 연구와 비교하여 더 우수한 결과를 보인 이유는 이전 연구들에서 사용된 레진 기반의 하악골 및 비골, 장골 절단 가이드와 달리, 본 연구에서는 티타늄 기반의 가이드를 사용했기 때문으로 사료된다. Kim 등의 연구에 따르면 티타늄 기반 가이드는 레진 기반 가이드에 비해 더 얇게 제작할 수 있어 조직 박리를 줄이고, 중합 수축 등 오차를 유발하는 과정이 없으며, 강한 물성을 가지고 있어 수술 중 오차를 감소시킬 수 있다고 밝혔다(Kim et al., 2022). 이러한 차이가 이전 연구보다 더 높은 정확성을 도출하는 데 기여한 것으로 추정된다.

Sweed 등은 비골 유리 피판에 대한 정확도와 관련된 연구에서 정확도에 영향을 미치는 요인으로 병인, 종양의 부위 및 위치, 하악골 결손부의 크기, 비골 분할 수 등에 대해 분석하였고, 비골 분할 수만이 통계적으로 유의한 값을 갖는다고 하여, 다른 요인들은 수술의 정확도에 영향을 미치지 않는다고 하였다(Sweed et al., 2020). Goormans 등 역시 비골 유리 피판의 정확도에 대해 관상돌기 간 거리 편차, 하악각 간 거리 편차, 전후 거리 편차, 분절 간 평면 이동 등의 지표를 측정하여 비교하였고, 비골 분할 수의 증가와 하악골 관절돌기의 포함 여부에 따라 오차가 커지는 양상을 보인다고 하였다(Goormans et al., 2019). 반면, Zavattero 등은 CAS를 이용한 비골 유리 피판 재건술의 정확도에 대한 분석을 통해 비골 유리 피판의 정확도가 비골 분할 수의 증가에 따라 영향이 없다고 하였다(Zavattero et al., 2021). 이러한 다양한 연구들은 비골 유리 피판의 재건에서 정확도를 평가하는 다양한 지표와 요인이 존재한다는 것을 보여준다.

본 연구에서는 비골 유리 피판의 정확성에 영향을 미치는 요인들이 피판에 식립된 임플란트의 정확성에도 영향을 미칠 수 있을 것이라고 판단하고, 하악골 결손부의 크기, 골 분절 수, 정중선 포함 여부, 종양의 병인 등의 요인이 임플란트의 정확도에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 분석 결과, 통계적으로 유의미한 지표는 없었으며, 이는 가상 수술 계획을 이용하여 식립된 임플란트의 정확성 및 재현성이 특정 요인에 의해 오차가 유발되지 않는다고 생각될 수 있다.

고정체 간 거리 및 각도에 따른 모식도를 Figure 7에 표현하였으며, 모든 고정체는 고정체 간 거리 4mm 이내, 각도 6° 이내에 포함되었다. 본 연구에서 가장 큰 차이를 보인 값은 고정체 간 거리 3.88mm, 각도 5.64°였으며, 이는 환자 4의 경우에 해당하였다(Table 2). 그러나 해당 경우에서도 임시 보철물을 무리 없이 장착할 수 있었기에 이러한 오차의 범위는 임상적으로 유의미하지 않다고 볼 수 있다. 또한, 본 연구에서 고정체 간 평균 거리는 1.91mm, 평균 각도는 3.69°였으며, 2018년 국제 임플란트학탐(ITI)이 구내 가이드를 사용한 임플란트 수술의 정확성에 대해 보고한 고정체 간 거리 1.2mm, 각도 3.5°와 비교해도 큰 차이가 없었다(Tahmaseb et al., 2018). 이러한 결과는 가상 수술 계획의 정확성과 재현성을 입증하며, 다양한 요인에도 불구하고 임플란트 식립이 안정적으로 이루어질 수 있음을 시사한다.

Urken 등에 의해 즉시 임플란트 식립은 안전한 절차로 처음 기술되었으며, Anne-Gaelle 등은 즉시 임플란트 식립이 시행되지 않는 경우, 치열을 포함한 재건을 시행하기 위해 6개월을 기다리는 것이 일반적이라고 하였다(Urken et al., 1998; Anne-Gaelle et al., 2011). 즉시 임플란트 식립의 경우, 방사선 치료가 시행되기 전에 골융합이 시작될 수 있다는 장점이 있으며, 이로 인해 방사선 골 괴사의 가능성을 낮추는 장점이 있다. 또한 절제 수술 후 즉시 재건 시 임플란트 지지 치과 재활의 시기를 앞당긴다는 장점 역시 존재한다. Avraham 등은 디지털로 계획된 비골 재건 그룹에서 즉시 임플란트 식립을 받은 14명의 환자 중 11명이 치과 재활을 달성했다고 보고하였다(Avraham et al., 2014).

이러한 이른 시기로 인한 장점뿐만 아니라, 정확성 역시 더 나은 결과를 보일 수 있을 것으로 사료되는데, 가상 계획을 통해 대합 치열과 일치하는 기능적 위치에 임플란트를 계획할 수 있게 되며, 개구 제한 및 참고 구조물 부재로 인해 발생하던 지연 임플란트 식립의 정확도 저하를 해결할 수 있다. 이는 즉시 임플란트 식립이 지연 식립에 비해 정확성 측면에서 유리할 수 있음을 시사하며, 지연 임플란트 식립과 즉시 임플란트 식립의 정확성을 추후 비교 연구하여, 두 방법의 상대적 장단점을 보다 명확히 규명할 필요가 있다.

해당 연구의 한계로는 여러 가지 요인이 있다. 첫째, 표본 수가 적어 결과값의 해석에 오류가 있을 수 있다는 점이다. 표본 크기가 작을 경우, 결과의 신뢰성과 일반화 가능성에 한계가 있을 수 있다. 이는 더 많은 환자를 대상으로 한 연구를 통해 보완되어야 한다. 둘째, 자연 임플란트 식립과의 정확도 비교가 없다는 점이다. 즉시 임플란트 식립은 정확도 측면에서 장점이 있을 것으로 판단되지만, 자연 임플란트 식립과 결과값에 대한 비교를 시행하지 못하였다. 이러한 한계들을 보완하기 위한 후속 연구가 필요하며, 이를 통해 임상에서의 적용 가능성을 높일 수 있을 것이다.

V. 결론

본 기관에서 가상 수술 계획을 통해 제작된 하악골 절단 및 비골 절단 가이드를 활용하여 유리 피판술과 임플란트 식립을 동시에 시행한 환자의 임플란트 고정체에 대한 후향적 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 임플란트 고정체 상부 중심 간 거리는 최소값 0.67mm, 최대값 3.88mm를 가졌고, 평균 1.91mm (SD 0.88mm) 각도는 최소값 1.67°, 최대값 5.65°를 가졌고, 평균 3.69° (SD 1.09°) 값을 보였다.

2. 하악골 결손부의 크기, 부위 및 위치, 골 분할 수, 병인, 재건 시 이용한 공여부 등의 요인에 따라 일원 분산 분석을 통해 정확도에 영향을 미치는 요인에 대한 분석 결과, 통계적으로 유의미한 요인은 없었다.

오차의 범위가 임상적으로 수용할 수 있으며, 하악 결손부의 크기, 부위 및 위치, 골 분할 수, 병인 등의 요인들은 정확성에 차이를 나타내지 않았기에, 가상 수술 계획의 정확성과 재현성을 입증하며, 다양한 요인에도 불구하고 임플란트 식립이 안정적으로 이루어질 수 있음을 시사한다.

참고 문헌

- Alberga, J. M., Vosselman, N., Korfage, A., Delli, K., Witjes, M. J. H., Raghoobar, G. M., & Vissink, A. (2021). What is the optimal timing for implant placement in oral cancer patients? A scoping literature review. *Oral Diseases*, 27(1), 94–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/odi.13312>
- Avraham, Tomer M.D.; Franco, Peter D.M.D.; Brecht, Lawrence E. D.D.S.; Ceradini, Daniel J. M.D.; Saadeh, Pierre B. M.D.; Hirsch, David L. M.D., D.D.S.; Levine, Jamie P. M.D.. Functional outcomes of virtually planned free fibula flap reconstruction of the mandible. *Plastic and Reconstructive Surgery* 134(4):p 628e-634e, October 2014. | DOI: 10.1097/PRS.0000000000000513
- Barrowman, R. A., Wilson, P. R., & Wiesenfeld, D. (2011). Oral rehabilitation with dental implants after cancer treatment. *Australian Dental Journal*, 56(2), 160–165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2011.01318.x>
- Bodard Anne-Gaëlle, Salino Samuel, Bémer Julie, Lucas Renaud, Breton Pierre, Dental implant placement after mandibular reconstruction by microvascular free fibula flap: Current knowledge and remaining questions, *Oral Oncology*, Volume 47, Issue 12, 2011, Pages 1099–1104, ISSN 1368-8375, <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2011.07.016>.
- Brown, J. S., Barry, C., Ho, M., & Shaw, R. (2016). A new classification for mandibular defects after oncological resection. *The Lancet Oncology*, 17(1), e23–e30. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)00310-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00310-1)
- Chronopoulos, A., Zarra, T., Ehrenfeld, M., & Otto, S. (2018). Osteoradionecrosis of the jaws: definition, epidemiology, staging and clinical and radiological findings. A concise review. *International Dental Journal*, 68(1), 22–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/idj.12318>
- Goormans, F., Sun, Y., Bila, M., Schoenaers, J., Geusens, J., Lübbers, H.-T., Coucke, W., & Politis, C. (2019). Accuracy of computer-assisted mandibular reconstructions with free fibula flap: Results of a single-center series. *Oral Oncology*, 97, 69–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2019.07.022>
- Gou, L., Yang, W., Qiao, X., Ye, L., Yan, K., Li, L., & Li, C. (2018). Marginal or segmental mandibulectomy: treatment modality selection for oral cancer: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 47(1), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijom.2017.07.019>
- Huottilainen, E., Jaanimets, R., Valášek, J., Marcián, P., Salmi, M., Tuomi, J., Mäkitie, A., & Wolff, J. (2014). Inaccuracies in additive manufactured medical skull models caused by the DICOM to STL conversion process.

- Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 42(5), e259-e265.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcms.2013.10.001>
- Idris, S., Logan, H., Tabet, P., Osswald, M., Nayar, S., & Seikaly, H. (2022). The accuracy of 3D surgical design and simulation in prefabricated fibula free flaps for jaw reconstruction. *Journal of Personalized Medicine*, 12(11), 1766. <https://www.mdpi.com/2075-4426/12/11/1766>
- Kim, S.-H., Kim, A.-H., Choi, Y. J., Jung, Y.-S., & Kim, J.-Y. (2022). Personalized 3D-printed titanium cutting guide and prefabricated osteosynthesis plate for mandibular step osteotomy to treat severe mandibular prognathism. *Journal of Craniofacial Surgery*, 33(7). https://journals.lww.com/jcraniofacialsurgery/fulltext/2022/10000/personalized_3d_printed_titanium_cutting_guide_and.66.aspx
- Kumar, B. P., Venkatesh, V., Kumar, K. A. J., Yadav, B. Y., & Mohan, S. R. (2016). Mandibular reconstruction: overview. *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*, 15(4), 425-441. <https://doi.org/10.1007/s12663-015-0766-5>
- Levine, J. P., Bae, J. S., Soares, M., Brecht, L. E., Saadeh, P. B., Ceradini, D. J., & Hirsch, D. L. (2013). Jaw in a day: total maxillofacial reconstruction using digital technology. *Plastic and reconstructive surgery*, 131(6), 1386-1391.
- Marx, R. E. (1983). A new concept in the treatment of osteoradionecrosis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 41(6), 351-357. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0278-2391\(83\)80005-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0278-2391(83)80005-6)
- Montero, P. H., & Patel, S. G. (2015). Cancer of the oral cavity. *Surg Oncol Clin N Am*, 24(3), 491-508. <https://doi.org/10.1016/j.soc.2015.03.006>
- Patel, A., Harrison, P., Cheng, A., Bray, B., & Bell, R. B. (2019). Fibular reconstruction of the maxilla and mandible with immediate implant-supported prosthetic rehabilitation: Jaw in a Day. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*, 31(3), 369-386. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.03.002>
- Rustemeyer, J., Sari-Rieger, A., Melenberg, A., & Busch, A. (2015). Comparison of intraoperative time measurements between osseous reconstructions with free fibula flaps applying computer-aided designed/computer-aided manufactured and conventional techniques. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 19(3), 293-300. <https://doi.org/10.1007/s10006-015-0493-6>
- Schepers, R. H., Kraeima, J., Vissink, A., Lahoda, L. U., Roodenburg, J. L. N., Reintsema, H., Raghoobar, G. M., & Witjes, M. J. (2016). Accuracy of secondary maxillofacial reconstruction with prefabricated fibula grafts using 3D planning and guided reconstruction. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 44(4), 392-399. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcms.2015.12.008>

- Schepers, R. H., Raghoobar, G. M., Vissink, A., Stenekes, M. W., Kraeima, J., Roodenburg, J. L., Reintsema, H., & Witjes, M. J. (2015). Accuracy of fibula reconstruction using patient-specific CAD/CAM reconstruction plates and dental implants: A new modality for functional reconstruction of mandibular defects. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 43(5), 649-657. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcms.2015.03.015>
- Sweed, A. H., Bolzoni, A. R., Kadubiec, A., Beltramini, G. A., Cherchi, A., & Baj, A. (2020). Factors influencing CAD/CAM accuracy in fibula free flap mandibular reconstruction. *Acta Otorhinolaryngol Ital*, 40(2), 138-143. <https://doi.org/10.14639/0392-100x-n0400>
- Takushima, A., Harii, K., Asato, H., Nakatsuka, T., & Kimata, Y. (2001). Mandibular reconstruction using microvascular free flaps: A statistical analysis of 178 cases. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 108(6). https://journals.lww.com/plasreconsurg/fulltext/2001/11000/mandibular_reconstruction_using_microvascular_free.18.aspx
- Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Impl Res*. 2018; 29(Suppl. 16): 416-435. <https://doi.org/10.1111/clr.13346>
- Mathew Bak, Adam S. Jacobson, Daniel Buchbinder, Mark L. Urken, Contemporary reconstruction of the mandible, *Oral Oncology*, Volume 46, Issue 2, 2010, Pages 71-76, ISSN 1368-8375, <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2009.11.006>.
- Alessandro Remigio Bolzoni, Eleonora Segna, Giada Anna Beltramini, Ahmed Hassan Sweed, Aldo Bruno Gianni, Alessandro Baj, Computer-aided design and computer-aided manufacturing versus conventional free fibula flap reconstruction in benign mandibular lesions: An Italian Cost Analysis, *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Volume 78, Issue 6, 2020, Pages 1035.e1-1035.e6, ISSN 0278-2391, <https://doi.org/10.1016/j.joms.2019.03.003>.
- van Baar, G. J. C., Forouzanfar, T., Liberton, N. P. T. J., Winters, H. A. H., & Leusink, F. K. J. (2018). Accuracy of computer-assisted surgery in mandibular reconstruction: A systematic review. *Oral Oncology*, 84, 52-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2018.07.004>
- Varvares, M. A., Poti, S., Kenyon, B., Christopher, K., & Walker, R. J. (2015). Surgical margins and primary site resection in achieving local control in oral cancer resections. *The Laryngoscope*, 125(10), 2298-2307. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/lary.25397>
- Zanoni, D. K., Montero, P. H., Migliacci, J. C., Shah, J. P., Wong, R. J., Ganly, I., & Patel, S. G. (2019). Survival outcomes after treatment of cancer of the oral cavity (1985-2015). *Oral Oncology*, 90, 115-121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2019.02.001>

Zavattero, E., Bolzoni, A., Dell'Aversana, G., Santagata, M., Massarelli, O., Ferri, A., Della Monaca, M., Copelli, C., Gessaroli, M., Valsecchi, S., Borbon, C., Beltramini, G. A., Ramieri, G., Valentini, V., Tartaro, G. P., Cocchi, R., Varazzani, A., Califano, L., & Baj, A. (2021). Accuracy of fibula reconstruction using patient-specific cad/cam plates: A multicenter study on 47 Patients. *The Laryngoscope*, 131(7), E2169-E2175. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/lary.29379>

Urken ML, Buchbinder D, Costantino PD, et al. oromandibular reconstruction using microvascular composite flaps: report of 210 cases. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 1998;124(1):46-55. doi:10.1001/archotol.124.1.46

Abstract

Evaluation of Implant Accuracy in Mandibular Reconstruction Using Free Flaps with Immediate Implant

Euntae Joo

Department of Dental science

The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor Hyung Jun Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D.)

In the treatment of oral cancer, surgical resection is essential, and segmental mandibular resection should be considered when the mandible is involved. Reconstruction of the resected mandible typically employs fibular free flaps and deep circumflex iliac artery flaps. Since surgery is often combined with radiotherapy, placing implants in the irradiated area can lead to osteoradionecrosis. To enhance the patient's quality of life, it is necessary to expedite the timing of implant placement. To reduce the risk of osteoradionecrosis, the concept of simultaneous implant placement during free flap surgery has emerged, utilizing virtual surgical planning and 3D printing guides. The accuracy of implants placed in the donor site of the free flap has required careful consideration.

To evaluate the accuracy of immediately placed implants during mandibular

reconstruction using free flaps, we conducted a study at Yonsei University, Department of Oral and Maxillofacial Surgery from March 2023 to January 2024. We included 12 patients out of 16 who underwent immediate implant placement with free flaps, assessing 40 implants for oncological and pre- and postoperative metrics.

1. The centerpoint deviation ranged from 0.67mm to 3.88mm, with a mean of 1.91mm (SD 0.88mm). The angular deviation ranged from 1.67° to 5.65°, with a mean of 3.69° (SD 1.09°).

2. Analyzing factors such as defect size, location, number of bone segments, etiology, and donor site using an one-way ANOVA test we found no statistically significant factors affecting accuracy.

The range of errors was clinically acceptable, and factors such as the size, area, and location of the mandibular defect, the number of bone segments, and the etiology did not show differences in accuracy. This demonstrates the precision and reproducibility of virtual surgical planning and suggests that stable implant placement can be achieved despite various factors. This information is expected to serve as a reference for clinicians performing surgeries in the future.

Key words : Jaw-In-A-Day, Fibula free flap, Immediate implantation, Accuracy