



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원 저작자를 표시하여야 합니다.

- 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](#)



완전무치악 치과용 임플란트 가이드의
고정핀 방향이 임플란트 식립 정확도에
미치는 영향

연세대학교 대학원

치의학산업학과

김 진 웅

완전무치악 치과용 임플란트 가이드의 고정핀 방향이 임플란트 식립 정확도에 미치는 영향

지도교수 박 정 원

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

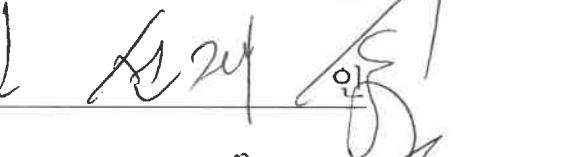
2024년 12월

연세대학교 대학원

치의학산업학과

김 진 웅

김진웅의 석사 학위논문으로 인준함

심사위원 박정원 
심사위원 김선재 
심사위원 표세우 

연세대학교 대학원

2024년 12월

차례

표 차례	ii
그림 차례	iii
국문 요약	iv
제 1 장 서론	1
1.1. 연구목적 및 필요성	1
제 2 장 연구재료 및 방법	3
2.1. 실험용 모델 준비 및 임플란트, 고정핀 종류 결정	3
2.2. CBCT 촬영	5
2.3. 정확도 비교를 위한 군 설정	5
2.4. 임플란트 식립	7
2.5. 임플란트 식립 모형 CBCT 촬영	8
2.6. 임플란트 식립 위치 확인	8
2.7. 통계 분석	10
제 3 장 연구 결과	10
3.1. 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 정확도 평가	10
3.2. 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 치아번호 별 임플란트 식립 정확도	13
제 4 장 고찰	20
제 5 장 결론	22
참고문헌	23
Abstract	30



표 차례

<표 1> 임플란트 및 고정핀 정보	4
<표 2> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 오차	11
<표 3> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 오차 - 하악 우측 측절치	14
<표 4> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 오차 - 하악 좌측제 1 소구치	16
<표 5> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 오차 - 하악 우측제 2 대구치	19

그림 차례

<그림 1> 하악 무치악 모형	3
<그림 2> 가상의 수술용 가이드 고정용 핀을 수직으로 식립한 단면 영상	5
<그림 3> Implant studio 를 이용한 임플란트 수술용 가이드 설계	6
<그림 4> 3D 프린터로 출력한 임플란트 수술용 가이드	6
<그림 5> 임플란트 수술용 가이드를 체결한 모형	7
<그림 6> 계획 된 임플란트와 식립 된 임플란트 간의 편차에 대한 일러스트	9
<그림 7> CT 데이터를 이용한 임플란트 식립 비교	10
<그림 8> 임플란트 거리 변위량 수식	10
<그림 9> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차	12
<그림 10> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 거리 오차	13
<그림 11> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차(측절치)	15
<그림 12> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 거리 오차(측절치)	15
<그림 13> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차(소구치)	17
<그림 14> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 거리 오차(소구치)	18
<그림 15> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 거리 오차(대구치)	20
<그림 16> 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 거리 오차(대구치)	20

국 문 요 약

완전무치악 치과용 임플란트 가이드의 고정핀 방향이 임플란트 식립 정확도에 미치는 영향

목적. 치과 임플란트 수술용 가이드를 사용한 임플란트 식립은 임플란트를 계획한 위치와 방향으로 정확히 식립할 수 있도록 도와주는 기능을 하는 것으로 알려져 있다. 지금까지 보고된 수술용 가이드 정확성에 관한 연구는 잔존치가 존재하는 경우에 수술용 가이드 형태 및 제작방법, 식립 방법 등에 따른 차이를 비교한 것으로 완전 무치악 환자에서의 연구는 아직 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 완전무치악 모델에서 수술용 가이드의 고정핀 방향을 달리한 경우와 고정핀이 없는 경우로 제작하여, 각각의 경우에 임플란트 식립 정확도에 미치는 영향에 관해 비교 분석하였다.

연구 방법. 완전무치악 모형에 수술용 가이드 고정핀 방향이 수직, 수평인 군과 고정핀이 없는 세개의 군을 설정하여 수술용 가이드를 Implant Studio 를 사용하여 임플란트 식립을 설계 및 디자인 하였다. 고정핀의 위치는 하악 우측 제 1 대구치, 하악 좌측 측절치, 하악 좌측 제 2 대구치에 위치하도록 설계를 하였고, 임플란트 식립 위치는 하악 우측 제 2 대구치, 하악 우측 측절치, 하악 좌측 제 1 소구치로 설계하였다. 수술용 가이드를 3D 프린터로 제작하여 총 21 개의 모델에 수술용 가이드를 부착하였다. 수직 및 수평 고정핀을 사용한 군에는 직경 2.0 mm, 길이 18.0 mm 의 수술용 가이드 고정핀을 하악 우측 제 1 대구치, 좌측 제 2 대구치, 좌측 측절치 순으로 식립하였고, 세개의 군 모두 직경 4.0 mm, 길이 11.5 mm 의 임플란트를 하악 우측 제 2 대구치, 하악 좌측 제 1 소구치, 하악 우측 측절치 순으로 식립 하였다. 임플란트 식립 한 모델의 CBCT 를 촬영 하여 술전 DICOM 파일과 술후 DICOM 파일을 중첩시켜 가상으로 계획 된 임플란트 위치와 실제 식립 한 임플란트 위치를 비교하였다. 임플란트의 위치는 계획 된 임플란트의 위치가 기준이

되어 실제 식립한 임플란트 위치 변위량에 대해 결과를 분석하였다. 계획 된 임플란트와 식립 된 임플란트의 최상단 중앙에서부터 거리인 플랫폼에서의 거리 변위량, 계획 된 임플란트와 식립 된 임플란트의 최하단 중앙에서부터 거리인 근첨부에서의 거리 변위량, 각도 오차에 대해 분석을 하였고, SAS version 9.4 를 이용하여 통계를 실시하였다. Shapiro-Wilk test 로 정규성 검정을 진행하였고, 각 군 차이를 비교하기 위해 ANOVA 분산분석을 수행하였다. Bonferroni Correction Method 사후 검정을 진행 하였고, 모든 결과는 $p<0.05$ 수준에서 유의성 검정을 하였다.

결과. 수직 방향으로 고정용 핀이 식립된 1 군은 각도 오차는 $1.84\pm0.53^\circ$, 임플란트 플랫폼에서 거리 변위량은 0.43 ± 0.35 mm, 근첨부 거리 변위량은 0.64 ± 0.53 mm 로 나타냈으며, 수평 방향으로 고정용 핀이 식립 된 2 군에서 각도 오차는 $1.94\pm0.50^\circ$, 임플란트 플랫폼에서 거리 변위량은 0.49 ± 0.38 mm, 근첨부 거리 변위량은 0.73 ± 0.57 mm 로 나타났다. 고정용 핀을 사용하지 않은 3 군의 각도 오차는 $2.47\pm0.63^\circ$, 임플란트 플랫폼에서 거리 변위량은 0.79 ± 0.50 mm, 근첨부 거리 변위량은 1.15 ± 0.70 mm 로 나타났다. 수술용 가이드 고정핀을 사용한 가이드의 임플란트 식립 정확도가 고정핀을 사용하지 않은 가이드의 임플란트 식립 정확도보다 작은 오차를 나타냈다.

치아 위치에 따른 임플란트 식립 시 고정핀이 수직으로 식립 된 1 군의 하악 우측 측절치에서 각도 오차는 $2.39\pm0.14^\circ$, 플랫폼에서 거리 변위량은 0.85 ± 0.12 mm, 근첨부 변위량은 1.30 ± 0.28 mm 로 나타났다. 고정핀이 수평으로 식립 된 2 군에서의 각도 오차는 $2.46\pm0.14^\circ$, 플랫폼에서 거리 변위량은 0.96 ± 0.21 mm, 근첨부 변위량은 1.44 ± 0.29 mm 로 나타났다. 고정핀을 사용하지 않은 3 군의 각도

오차는 $3.28 \pm 0.32^\circ$, 플랫폼에서 거리 변위량은 1.43 ± 0.12 mm, 근첨부 변위량은 2.06 ± 0.12 mm로 나타났다.

고정핀이 수직으로 식립된 1 군의 하악 좌측 제 1 소구치에서 각도 오차는 $1.92 \pm 0.13^\circ$, 플랫폼에서 거리 변위량은 0.32 ± 0.12 mm, 근첨부 변위량은 0.46 ± 0.18 mm로 나타났다. 고정핀이 수평으로 식립된 2 군에서의 각도 오차는 $1.98 \pm 0.14^\circ$, 플랫폼에서 거리 변위량은 0.38 ± 0.12 mm, 근첨부 변위량은 0.56 ± 0.19 mm로 나타났다. 고정핀을 사용하지 않은 3 군의 각도 오차는 $2.23 \pm 0.05^\circ$, 플랫폼에서 거리 변위량은 0.64 ± 0.06 mm, 근첨부 변위량은 0.95 ± 0.11 mm로 나타났다.

고정핀이 수직으로 식립된 1 군의 하악 우측 제 2 대구치에서 각도 오차는 $1.21 \pm 0.28^\circ$, 플랫폼에서 거리 변위량은 0.11 ± 0.05 mm, 근첨부 변위량은 0.15 ± 0.06 mm로 나타났다. 고정핀이 수평으로 식립된 2 군에서의 각도 오차는 $1.37 \pm 0.30^\circ$, 플랫폼에서 거리 변위량은 0.17 ± 0.05 mm, 근첨부 변위량은 0.18 ± 0.07 mm로 나타났다. 고정핀을 사용하지 않은 3 군의 각도 오차는 $1.89 \pm 0.07^\circ$, 플랫폼에서 거리 변위량은 0.29 ± 0.07 mm, 근첨부 변위량은 0.43 ± 0.10 mm로 나타났다.

결론. 수술용 가이드 고정핀을 식립한 경우가 고정핀을 식립하지 않은 경우에 비해 정확도가 높았으나, 고정핀의 식립 방향에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다. 치아 위치에 따른 임플란트 식립 정확도는 수술용 가이드 고정핀을 사용한 경우와 사용하지 않은 경우 모두 대구치, 소구치, 전치 순으로 정확도가 높게 나타났다.

핵심되는 말: dental Implant; surgical guide; computer-aided surgery; surgical guide fixation pin; fixation pin direction

1. 서론

1.1. 연구 목적 및 필요성

임플란트 치료의 궁극적인 목적은 환자의 기존 잔존골을 최대한 활용하여 외과적 및 보철적 관점에서 보철물과 구강 내외 결손 부분을 생역학적, 기능적, 그리고 심미적으로 회복하는 것이다[1-3]. 이러한 치료는 환자의 삶의 질을 향상시키는 핵심 요소로, 지난 수십 년간 치과의학의 발전과 더불어 치과용 임플란트 술식 역시 비약적으로 발전해 왔다[4].

특히, 치과용 임플란트의 성공적인 식립은 정확한 위치와 각도를 확보하는 데 크게 의존하며, 이는 주변 해부학적 구조물의 손상 방지와 장기적인 예후에도 직접적인 영향을 미친다는 연구 결과가 있다[5,6]. 그러나 구강 내 복잡한 해부학적 구조와 제한된 시야로 인해 수술자의 경험과 기술만으로는 이상적인 임플란트 위치를 구현하기에는 한계가 존재하는 것으로 알려져 있다[7].

이러한 한계를 극복하기 위해 최근에는 컴퓨터 보조 설계 및 제조(Computer Aided Desgin(CAD))/Computer Aided Manufacturing(CAM)) 기술을 활용한 수술용 가이드의 사용이 보편화되고 있다[8]. 디지털 방식으로 제작된 치과용 임플란트 수술용 가이드(Computer Assisted Implant Surgery(CAIS))는 환자의 Computer Tomography(CT) 데이터를 기반으로 3D 프린팅 기술을 통해 제작되며, 이는 치과용 임플란트의 위치, 깊이, 각도를 사전에 계획하고 이를 수술 현장에서 정확하게 구현할 수 있도록 도와준다[9]. 디지털 방식으로 제작된 치과용 임플란트 수술용 가이드의 사용은 임플란트 수술의 정확도를 높이는데 크게 기여하며, 수술 시간 단축, 합병증 감소, 재수술율 감소 등 다양한 임상적 이점을 제공하며, 이는 환자의 만족도 향상으로 이어지는 것으로 알려져 있다[10,11].

그러나 디지털 방식으로 제작된 치과용 임플란트 수술용 가이드의 정확성과 안정성은 CT 의 해상도, 수술용 가이드 제작 방법 및 재료, 환자의 움직임 등 여러

요인에 의해 영향을 받을 수 있다. 특히 수술용 가이드의 고정 방법에 크게 의존한다는 연구 결과가 있다[12,13]. 기존 연구에 따르면 잔존치아가 있는 경우가 잔존치가 없는 경우 보다 임플란트 수술용 가이드의 고정력과 안정성을 확보할 수 있고, 임플란트 식립 정확도를 높일 수 있다고 나타나 있다[14]. 특히 무치악 환자의 경우 수술용 가이드의 위치를 정해줄 잔존 치아가 없고 연조직 상에 위치하므로 수술용 가이드의 위치 변화가 생길 수 있으며, 그 결과 계획 된 임플란트의 식립 정확도도 낮아질 수 밖에 없다[15,16].

따라서 무치악 환자의 수술용 가이드의 안정성과 고정력을 확보하기 위해 고정핀의 사용은 필수적이다[17]. 고정핀은 임플란트 수술용 가이드를 골 구조에 직접 고정하여 수술 중 가이드의 움직임을 최소화하여 임플란트 식립 정확도를 높이는데 중요한 역할을 한다[18]. 그러나 고정핀의 식립 방향과 위치는 수술용 가이드의 안전성과 임플란트 식립 정확도에도 영향을 미칠 수 있다[19]. 기존 연구에 따르면 고정핀은 혀의 움직임과 해부학적 구조물을 고려하여 하악 전치부 협측과, 구치부 협측에 식립을 권장하고 있으며[20,21]. 이는 혀로 인한 방해를 최소화하고, 해부학적 구조물을 피하면서 충분한 골량과 안정성을 확보 할 수 있기 때문이다[22]. 고정핀을 수평 방향으로 식립 시 고정핀의 응력을 고르게 분산 시키지 못하고, 특정 부위에 응력이 집중 될 가능성이 있다. 이는 가이드의 미세한 움직임을 유발 할 수 있다.

고정핀의 식립은 가이드의 변형이나 미세한 이동을 유발할 수 있는 중요한 변수이다[23]. 고정핀을 수술용 가이드에 식립할 경우, 수술용 가이드에 비대칭적인 응력이 가해져 계획된 임플란트 위치에서 벗어날 수 있다[24]. 따라서 무치악 환자의 고정핀 식립 위치는 전치부 1 개, 양쪽 구치부 2 개를 삼각형 모양으로 식립하여 삼점 지지를 받는 것이 일반적으로 추천되어 왔다[25].

기존의 수술용 가이드를 이용한 임플란트 식립 정확성을 평가하는 생체 외 (*in vitro*) 연구[26–28], 생체 내 (*in vivo*) 연구[29–31] 등 다양한 기존 연구가 있다. 기존 연구에 의하면 고정핀을 식립한 수술용 가이드의 임플란트 식립 정확도는

경부에서의 거리 변위량 1.09 mm, 근첨부에서의 거리 변위량은 1.28 mm 의 값을 나타내며, 장축의 각도 오차는 3.9°로 나타냈다[32].

기존 연구에서 수술용 가이드 고정핀을 이용한 임플란트 정확도에 대한 대부분의 연구는 잔존치가 존재하는 부위에서 평가를 시행했고, 완전 무치악에서의 평가는 부족하다[33]. 또한 완전 무치악에서의 고정핀 방향에 따른 치과용 임플란트 식립 정확도에 관한 연구는 부족하다.

이에 본 연구에서는 하악 무치악 모델에서 고정핀의 식립 방향이 수술용 가이드의 안정성과 임플란트 식립 정확성에 영향을 미치는지 고정핀의 식립 방향을 수직 방향과 수평 방향의 수술용 가이드를 제작 후, 임플란트를 식립하여 비교 분석하였다. 본 연구의 영가설은 '고정핀의 식립 방향에 따라 임플란트 식립 정확도의 차이가 없을 것이다.'라고 가정하였다.

2. 연구재료 및 방법

2.1. 실험용 모델 준비 및 임플란트, 고정핀 종류 결정

실제 환자의 악궁의 형태와 유사한 조건의 치아 모형을 사용했다. 치아 모형은 모든 치아가 결손 된 하악 무치악 모델을 사용하였다. 치조골 부위는 Misch 골밀도 분류 D3에[34] 해당하는 콜질 및 콜강도를 가진 모형이며, 사람과 유사한 치은 조직 점도를 가졌고, 연조직의 두께는 2.0mm의 모형(GL-03, Osstem Implant, Seoul, Republic of Korea)으로 준비하여 실험에 사용하였다 (그림 1). 선행 연구에서 표본 수를 20 개 이상으로 하여 본 연구에서도 3 개의 군에 각 군당 7 개씩, 총 21 개의 모형을 준비하여 실험에 사용했다.



그림 1. 하악 무치악 모형.

임플란트 고정체(TSIII, Osstem Implant, Seoul, Republic of Korea)를 이용하여 하악 우측 제2 대구치, 하악 우측 측절치, 하악 좌측 제1 소구치에 직경 4.0mm, 길이 11.5mm 임플란트를 식립하기로 결정하였다.

고정핀은 직경 2.0mm, 길이 18.0 mm 고정핀(Anchorpin, Osstem Implant, Seoul, Republic of Korea)을 이용하여 전치부 1개와 구치부 2개를 포함해 총 3개를 삼각형 모양으로 9.0mm로 식립하였다(표 1).

표 1. 임플란트 및 고정핀 정보.

Materials	Diameter X Length (mm)	Manufacture	Name
Implant	4.0 X 11.5	Osstem Implant	TSIII
Fixation pin	2.0 X 18.0	Osstem Implant	Anchorpin

2.2. CBCT 촬영

준비한 모형을 각각 cone beam computer tomography(CBCT) (T2Plus, Osstem Implant, Seoul, Korea)를 이용하여 촬영하였다. CBCT를 촬영하여 digital imaging and communication in medicine (DICOM) 파일을 획득하였다.

2.3. 정확도 비교를 위한 군 설정

CBCT 촬영으로 얻은 모형 DICOM 파일과 모델스캐닝으로 얻은 모형 STL 파일을 임플란트 수술용 가이드 디자인 소프트웨어 (Implant Studio, 3Shape, Copenhagen, Denmark)로 정합하였다. 두 영상을 정합한 영상에서 임플란트 수술용 가이드를 설계하여 제작하였다(그림 2).

1 군은 수술용 가이드에 고정핀을 수직 방향으로 우측 구치부(하악 우측 제 1 대구치), 좌측 구치부(하악 좌측 제 2 대구치), 전치부(하악 좌측 측절치) 3 방향으로 식립하여 임플란트를 식립하였다(그림 3). 2 군은 고정핀을 수술용 가이드에 수평 방향으로 1 군과 같은 위치에 식립하여 임플란트를 식립하였다. 3 군은 고정핀을 사용하지 않고 수술용 가이드만 사용하여 임플란트를 식립하였다. 총 3 개의 군을 설정하였고, 3 개의 군 모두 모델 스캐너 (Trios, 3Shape, Copenhagen, Denmark)로 모델스캐닝을 하여 3D STL(Stereo Lithography) 파일로 데이터를 얻었다.

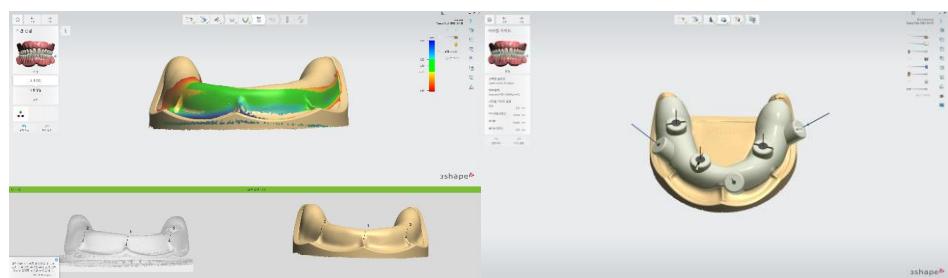


그림 2. Implant Studio 를 이용한 임플란트 수술용 가이드 설계.

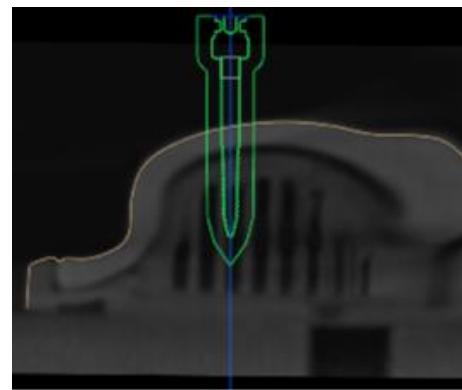


그림 3. 가상의 수술용 가이드 고정용 핀을 수직으로 식립한 단면 영상.

가이드 디자인 소프트웨어를 이용하여 디자인한 임플란트 수술용 가이드를 3D 프린터(J5 Dentajet, Stratasys, MN, USA)를 이용하여 출력하였고, 3D 프린터 재료(Med610, Stratasys, MN, USA)를 사용하여 총 21 개를 출력하였다 (그림 4). 출력한 수술용 가이드는 3D 프린터 메뉴얼에 따라 경화작업을 하였고, 세척기(HTM, Effegi brega, sarmato, Italy)와 고수압 장치를 사용해 후처리를 진행하였다.

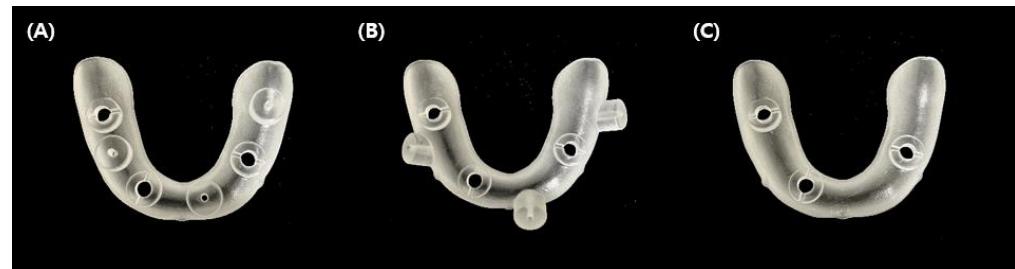


그림 4. (A) 고정핀을 수직 방향으로 식립하기 위해 디자인 하여 출력한 임플란트 수술용 가이드. (B) 고정핀을 수평 방향으로 식립하기 위해 디자인 하여 출력한 임플란트 수술용 가이드. (C) 고정핀을 사용하지 않게 디자인하여 출력한 임플란트 수술용 가이드

2.4. 임플란트 식립

임플란트 식립 경험이 없는 한 명의 학생이 술자가 되어 임플란트 드릴링을 실행하였다. 1 군, 2 군, 3 군 모두 제작한 임플란트 수술용 가이드를 모형에 고정시키고(그림 5), 수술용 가이드 전용 드릴키트 (OneGuide drill kit, Osstem Implant, Seoul, Republic of Korea)를 이용하여 표준 프로토콜에 따라 드릴링을 진행하였다.

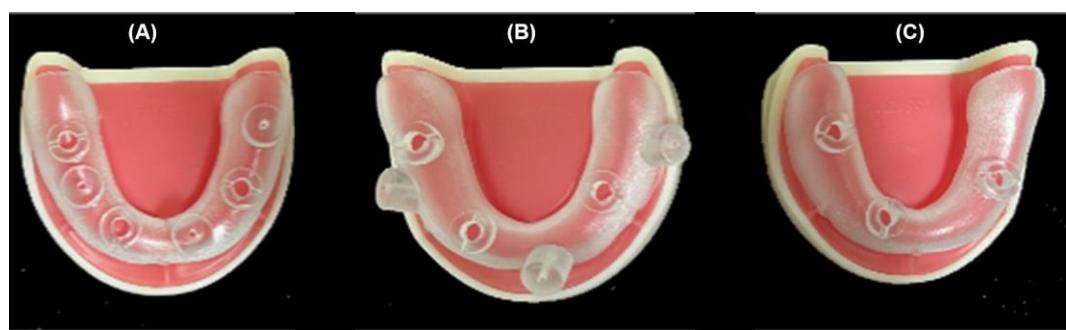


그림 5. (A) 고정핀을 수직 방향으로 식립하게 디자인 한 임플란트 수술용 가이드를 모델에 적합 시킨 모습. (B) 고정핀을 수평 방향으로 식립하게 디자인 한 임플란트 수술용 가이드를 모델에 적합 시킨 모습. (C) 고정핀을 사용하지 않고 디자인 한 임플란트 수술용 가이드를 모델에 적합 시킨 모습.

드릴링 단계에서 고정핀을 먼저 식립하였으며, 고정핀의 식립 순서는 우측 구치부, 좌측 구치부, 전치부 순으로 식립하였다. 고정핀 식립에서 고정핀 드릴의 속도는 1200 rpm 으로 진행 되었고, 고정핀을 마운팅하여 20 rpm 으로 고정핀을 식립하였다.

고정핀 식립 후, 임플란트 식립 순서는 하악 우측 제 2 대구치, 하악 좌측 제 1 소구치, 하악 우측 측절치 순으로 식립하였으며, 임플란트 드릴의 속도는 1200

rpm 으로 진행되었고, 임플란트 식립시에는 임플란트를 마운팅하여 20 rpm 으로 임플란트를 식립하였다.

2.5. 임플란트 식립 모형 CBCT 촬영

임플란트가 식립 된 1 군, 2 군, 3 군 모형을 술전과 동일한 조건으로 CBCT 촬영하여 DICOM 파일로 획득하고 술전에 획득한 이미지와 비교하였다.

2.6. 임플란트 식립 위치 확인

CBCT 로 얻은 영상에서 가상으로 식립한 임플란트 (planned implant, PI) 와 수술용 임플란트 가이드를 체결한 후 실제 임플란트 (inserted implant, II)의 영상을 중첩하였다. 가상으로 식립한 임플란트의 중심축이 기준이 되었고, 가상의 임플란트와 실제 식립한 임플란트 고정체의 최상단 중앙인 경부 중점의 거리를 경부 변위량 (coronal deviation, mm), 최하단 중앙인 첨부 중점의 거리를 첨부 변위량 (apical deviation, mm)을 x, y, z 성분으로 산출하였다. 그리고 임플란트 경부의 중점과 첨부의 중점을 연결하여 축으로 설정하였다. 이 두 중심 축 각도 차이를 각도 오차(angled deviation, °)라고 하였다(그림 6).

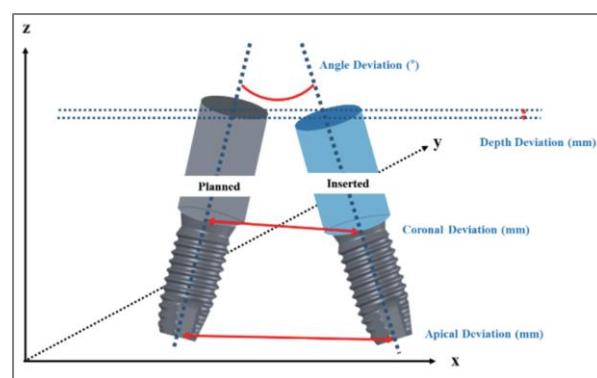


그림 6. 계획된 임플란트와 식립된 임플란트를 중첩하였을 때 편차에 대한 모식도.

가상으로 식립된 임플란트 위치에 임플란트가 식립된 1 군, 2 군, 3 군 모형 DICOM 파일을 OnDemand3D(Cybermed, Daejeon, Republic of Korea) 소프트웨어에서 영상융합 과정을 통해 임플란트 식립 위치를 확인하였다. 계획 된 임플란트 위치는 2D 라인으로 배치하였고, 실제 식립한 임플란트 위치는 3D 이미지로 재배치하였다(그림 7). 교합평면을 수평면으로 일치시키고 수평면에서 가로 축을 x축, 세로 축을 y축, 전후방 축을 z축으로 하여 DICOM 파일에 임플란트를 재배치해 각도 오차, 경부거리 오차(Coronal Deviation), 첨부거리 오차(Apical Deviation) 중심점의 거리를 측정하였다. 경부거리의 x 축 변위량을 Coronal deviation x(Cdx), y 축 변위량을 Coronal deviation y(Cdy), z 축 변위량을 Coronal deviation z(Cdz) 라 하였고, 경부거리 변위량의 총 합을 Coronal deviation sum(Csum) 이라 하였다. 또한 첨부거리의 x 축 변위량을 Apical deviation x(Adx), y 축 변위량을 Apical deviation y(Ady), z 축 변위량을 Apical deviation z(Adz) 라 하였고, 경부거리 변위량의 총 합을 Apical deviation sum(Asum) 이라 하였다. 경부거리 변위량의 총 합과 첨부거리 변위량의 총 합은 x, y, z 사이의 거리로 측정하였다(그림 8).

고정핀을 사용한 수술용 가이드와 고정핀을 사용하지 않은 수술용 가이드 각각의 치아 위치에 따른 임플란트 식립 오차를 분석하였고, 치아 위치 별 오차의 평균값을 계산하여 분석하였다.

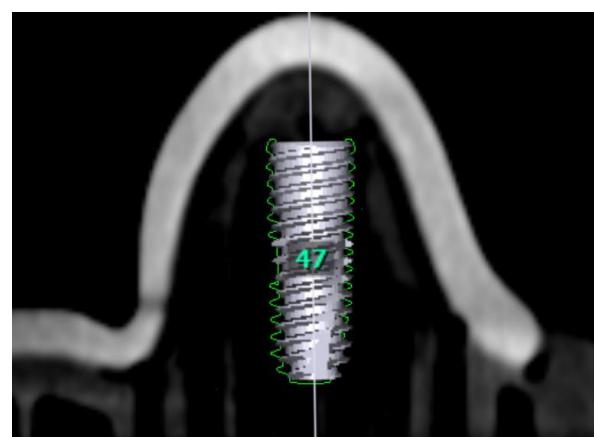


그림 7. 계획 된 임플란트와 식립 된 임플란트를 재배치한 그림.

$$C(\text{or } A)\text{sum} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

그림 8. 임플란트 식립 오차의 총 거리 변위량(Csum, Asum)의 계산식.

2.7. 통계 분석

모든 통계 분석은 SAS version 9.4(SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하여 실시하였다. CBCT를 이용한 임플란트 식립 정확도 분석 방법은 각도와 경부 및 첨부 변위량에 대해 Shapiro-Wilk test 정규성 검정을 진행하였다, 각 군 차이를 비교하기 위해 ANOVA 분산분석을 수행하였고, Bonferroni Correction Method로 사후 검정하였다. 모든 결과는 $p < 0.05$ 수준에서 유의성 검정이 이루어졌다.

3. 연구결과

3.1. 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 정확도 평가

가상의 임플란트 식립 모형과 실제로 식립한 임플란트 모형을 각각 CT 촬영하여 얻은 DICOM 파일을 중첩하여 고정핀의 식립 방향과 유무에 따른 전체 치아에 대한 임플란트 식립 각도 오차(Degree)와 플랫폼에서의 x, y, z 거리 오차(Cdx, Cdy, Cdz), 플랫폼에서의 거리 오차의 합(Csum), 근첨부에서의 x, y, z 거리 오차 (Adx, Ady, Adz), 근첨부에서의 거리 오차의 합(Asum)의 평균값 수치는 표 2에 나타나 있다.

표 2. 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 오차

Anchor pin	Degree (°)	Csum (mm)	Cdx (mm)	Cdy (mm)	Cdz (mm)	Asum (mm)	Adx (mm)	Ady (mm)	Adz (mm)
Vertical	1.84±0.53	0.43±0.35	0.19±0.17	0.24±0.20	0.30±0.23	0.64±0.53	0.30±0.23	0.34±0.32	0.43±0.31
Horizontal	1.94±0.50	0.49±0.38	0.22±0.19	0.27±0.22	0.35±0.25	0.73±0.57	0.35±0.32	0.39±0.34	0.49±0.34
None	2.47±0.63	0.79±0.50	0.36±0.24	0.43±0.29	0.56±0.34	1.15±0.70	0.58±0.40	0.65±0.41	0.74±0.42
Overall p-value	0.0011	0.0151	0.0202	0.0259	0.0099	0.0185	0.0279	0.0171	0.0146

고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차는 고정핀을 수직 방향으로 식립했을 때, $1.84\pm0.53^\circ$ 로 나타났고, 고정핀을 수평 방향으로 식립했을 때, $1.94\pm0.50^\circ$ 로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 $2.47\pm0.63^\circ$ 로 나타났다. 고정핀을 수직 방향과 수평 방향으로 식립했을 때 각도 차이는 통계적으로 유의성을 보이지 않았지만, 고정핀을 식립하지 않았을 경우와 고정핀을 식립한 경우에는 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(그림 9).

임플란트 플랫폼에서의 거리 오차값(Csum)은 고정핀을 수직으로 식립하였을 때, 0.43 ± 0.35 mm로 나타났고, 고정핀을 수평으로 식립하였을 때, 0.49 ± 0.38 mm로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 0.79 ± 0.50 mm로 나타났다. 임플란트 근첨부에서의 거리 오차값(Asum)은 고정핀을 수직으로 식립하였을 때, 0.64 ± 0.53 mm로 나타났고, 고정핀을 수평으로 식립하였을 때, 0.73 ± 0.57 mm로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 1.15 ± 0.70 mm로 나타났다. 고정핀을 수직 방향과 수평 방향으로 식립했을 때, 임플란트 플랫폼의 거리 오차와 근첨부 거리 오차는 통계적으로 유의성을 보이지 않았지만 고정핀을 식립하지 않았을 경우와 고정핀을 식립한 경우에는 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(그림 10).

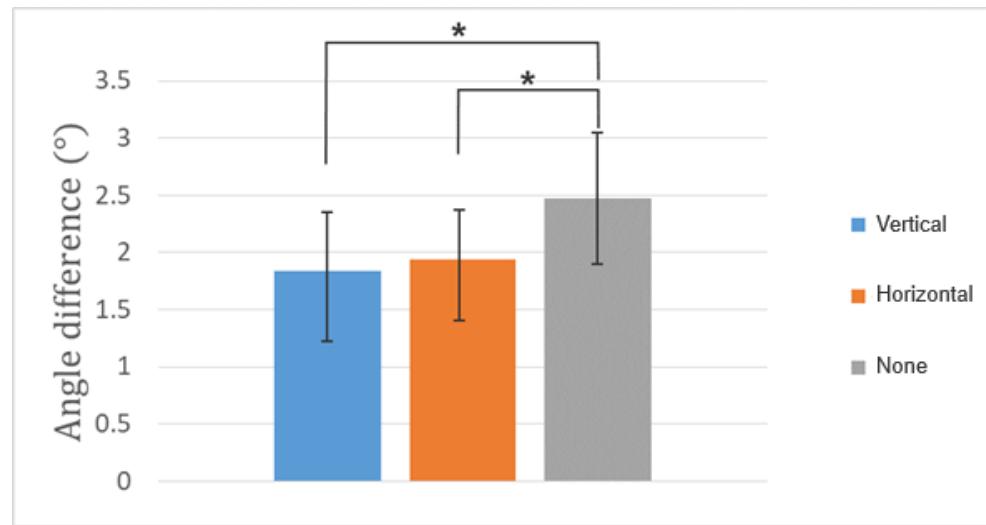


그림 9. 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차.

*는 통계적 유의차가 있음을 의미함($P<0.05$).

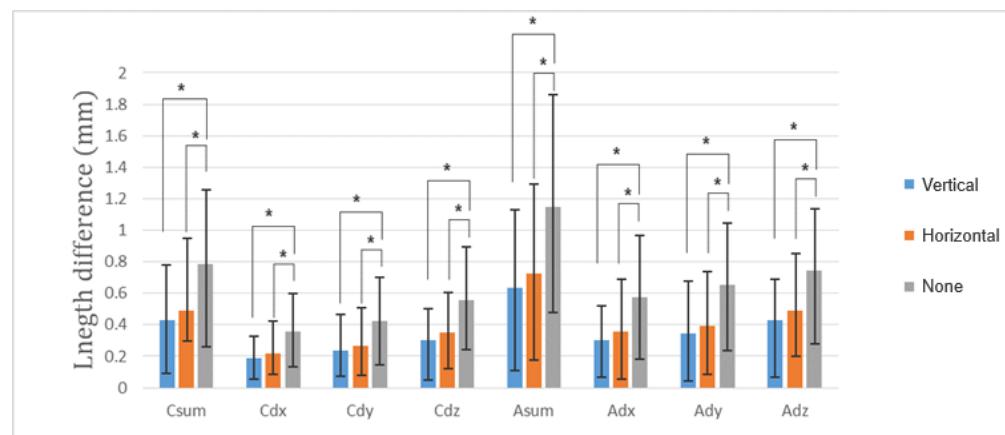


그림 10. 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 총 임플란트 식립 거리 오차.

*는 통계적 유의차가 있음을 의미함($P<0.05$).

3.2. 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 치아 위치에 따른 임플란트 식립 정확도 평가

앞선 방법과 같은 방법으로 하악 우측 측절치에 적용하여 결과값을 얻었다(표 3).

표 3. 하악 우측 측절치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 오차

Anchor pin	Degree (°)	Csum (mm)	Cdx (mm)	Cdy (mm)	Cdz (mm)	Asum (mm)	Adx (mm)	Ady (mm)	Adz (mm)
Vertical	2.39±0.14	0.85±0.12	0.40±0.11	0.48±0.10	0.58±0.13	1.30±0.28	0.68±0.15	0.74±0.16	0.82±0.17
Horizontal	2.46±0.14	0.96±0.21	0.45±0.11	0.54±0.11	0.66±0.14	1.44±0.29	0.76±0.16	0.82±0.18	0.90±0.17
None	3.28±0.32	1.43±0.12	0.67±0.04	0.79±0.07	1.00±0.09	2.06±0.12	1.09±0.09	1.18±0.07	1.28±0.11
Overall p-value	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

하악 우측 측절치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차는 고정핀을 수직 방향으로 식립했을 때, $2.39\pm0.14^\circ$ 로 나타났고, 고정핀을 수평 방향으로 식립했을 때, $2.46\pm0.14^\circ$ 로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 $3.28\pm0.32^\circ$ 로 나타났다. 고정핀을 수직 방향과 수평 방향으로 식립했을 때 각도 차이는 통계적으로 유의성을 보이지 않았지만, 고정핀을 식립하지 않았을 경우와 고정핀을 식립한 경우에는 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(그림 11).

임플란트 플랫폼에서의 거리 오차값(Csum)은 고정핀을 수직으로 식립하였을 때, $0.85\pm0.12\text{mm}$ 로 나타났고, 고정핀을 수평으로 식립하였을 때, $0.96\pm0.21\text{mm}$ 로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 $1.43\pm0.12\text{mm}$ 로 나타났다. 임플란트 근첨부에서의 거리 오차값(Asum)은 고정핀을 수직으로 식립하였을 때,

1.30±0.28mm로 나타났고, 고정핀을 수평으로 식립하였을 때, 1.44±0.29mm로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 2.06±0.12mm로 나타났다. 고정핀을 수직 방향과 수평 방향으로 식립했을 때, 임플란트 플랫폼의 거리 오차와 근첨부 거리 오차는 통계적으로 유의성을 보이지 않았지만 고정핀을 식립하지 않았을 경우와 고정핀을 식립한 경우에는 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(그림 12).

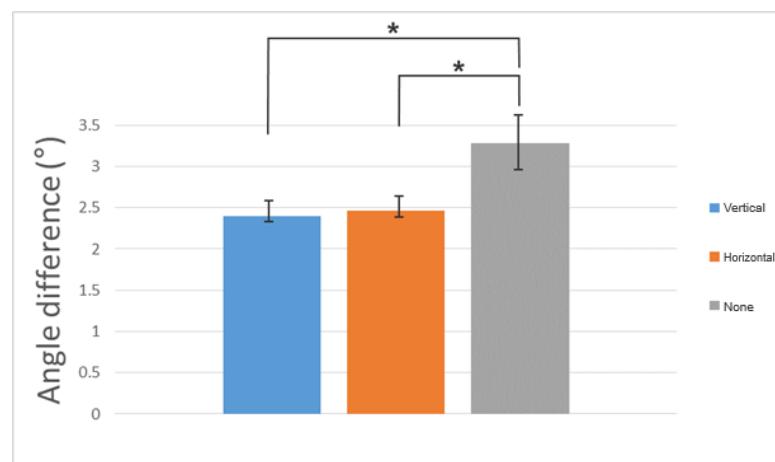


그림 11. 하악 우측 측절치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차. *는 통계적 유의차가 있음을 의미함 ($P<0.05$).

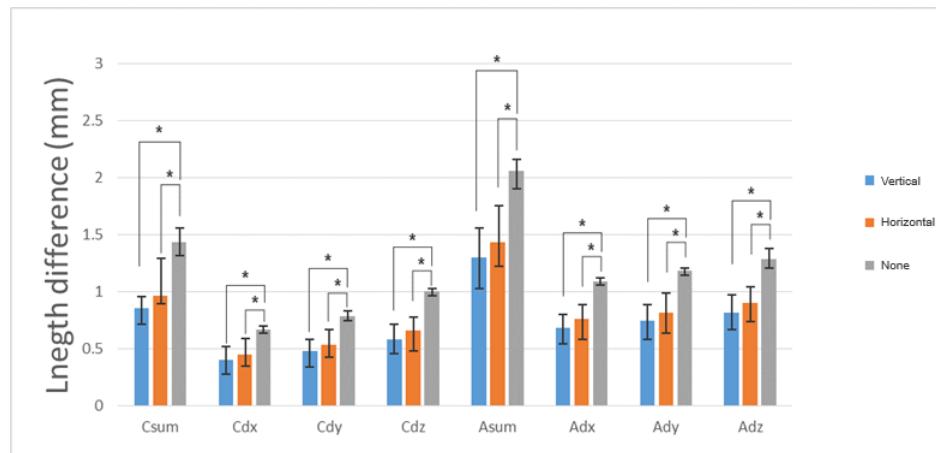


그림 12. 하악 우측 측절치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 거리 오차. *는 통계적 유의차가 있음을 의미함($P<0.05$).

앞선 방법과 같은 방법으로 하악 좌측 제 1 소구치에 적용하여 결과값을 얻었다(표 4).

표 4. 하악 좌측 제 1 소구치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 오차

Anchor Pint	Degree (°)	Csum (mm)	Cdx (mm)	Cdy (mm)	Cdz (mm)	Asum (mm)	Adx (mm)	Ady (mm)	Adz (mm)
Vertical	1.92 ± 0.13	0.32 ± 0.12	0.13 ± 0.05	0.17 ± 0.07	0.24 ± 0.077	0.46 ± 0.18	0.18 ± 0.09	0.24 ± 0.12	0.34 ± 0.11
Horizontal	1.98 ± 0.14	0.38 ± 0.12	0.15 ± 0.06	0.20 ± 0.08	0.28 ± 0.08	0.56 ± 0.19	0.24 ± 0.10	0.30 ± 0.13	0.40 ± 0.11
None	2.23 ± 0.05	0.64 ± 0.06	0.28 ± 0.04	0.36 ± 0.03	0.44 ± 0.03	0.95 ± 0.11	0.46 ± 0.08	0.55 ± 0.06	0.62 ± 0.06
Overall P-value	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0001	<.0001

하악 좌측 제 1 소구치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차는 고정핀을 수직 방향으로 식립했을 때, $1.92 \pm 0.13^\circ$ 로 나타났고,

고정핀을 수평 방향으로 식립했을 때, $1.98 \pm 0.14^\circ$ 로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 $2.23 \pm 0.05^\circ$ 로 나타났다. 고정핀을 수직 방향과 수평 방향으로 식립했을 때 각도 차이는 통계적으로 유의성을 보이지 않았지만, 고정핀을 식립하지 않았을 경우와 고정핀을 식립한 경우에는 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(그림 13).

임플란트 플랫폼에서의 거리 오차값(Csum)은 고정핀을 수직으로 식립하였을 때, $0.32 \pm 0.12\text{mm}$ 로 나타났고, 고정핀을 수평으로 식립하였을 때, $0.38 \pm 0.12\text{mm}$ 로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 $0.64 \pm 0.06\text{mm}$ 로 나타났다. 임플란트 근첨부에서의 거리 오차값(Asum)은 고정핀을 수직으로 식립하였을 때, $0.46 \pm 0.18\text{mm}$ 로 나타났고, 고정핀을 수평으로 식립하였을 때, $0.56 \pm 0.19\text{mm}$ 로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 $0.95 \pm 0.11\text{mm}$ 로 나타났다. 고정핀을 수직 방향과 수평 방향으로 식립했을 때, 임플란트 플랫폼의 거리 오차와 근첨부 거리 오차는 통계적으로 유의성을 보이지 않았지만 고정핀을 식립하지 않았을 경우와 고정핀을 식립한 경우에는 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(그림 14).

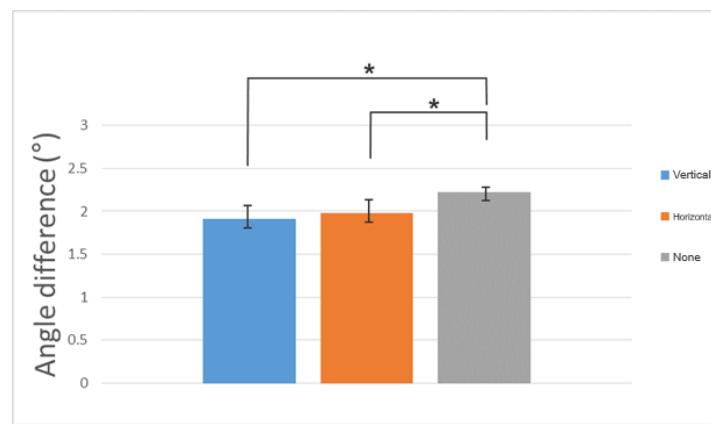


그림 13. 하악 좌측 제 1 소구치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차. *는 통계적 유의차가 있음을 의미함($P < 0.05$).

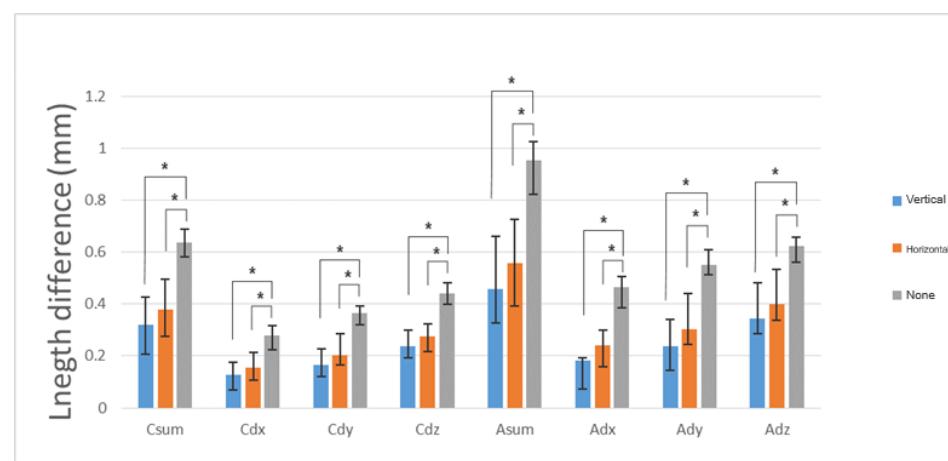


그림 14. 하악 좌측 제 1 소구치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 거리 오차. *는 통계적 유의차가 있음을 의미함($P < 0.05$).

앞선 방법과 같은 방법으로 하악 우측 제 2 대구치에 적용하여 결과값을 얻었다(표 5).

표 5. 하악 우측 제 2 대구치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 오차

Anchor pin	Degree (°)	Csum (mm)	Cdx (mm)	Cdy (mm)	Cdz (mm)	Asum (mm)	Adx (mm)	Ady (mm)	Adz (mm)
Vertical	1.21±0.28	0.11±0.05	0.04±0.02	0.06±0.02	0.09±0.04	0.15±0.06	0.05±0.03	0.05±0.03	0.14±0.04
Horizontal	1.37±0.30	0.14±0.07	0.05±0.02	0.05±0.01	0.11±0.04	0.18±0.07	0.06±0.04	0.07±0.02	0.16±0.05
None	1.89±0.07	0.29±0.07	0.12±0.04	0.12±0.04	0.23±0.04	0.43±0.10	0.18±0.04	0.22±0.07	0.33±0.06
Overall p-value	0.0001	<.0001	0.0002	0.0009	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

하악 우측 제 2 대구치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차는 고정핀을 수직 방향으로 식립했을 때, $1.21 \pm 0.28^\circ$ 로 나타났고, 고정핀을 수평 방향으로 식립했을 때, $1.37 \pm 0.30^\circ$ 로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 $1.89 \pm 0.07^\circ$ 로 나타났다. 고정핀을 수직 방향과 수평 방향으로 식립했을 때 각도 차이는 통계적으로 유의성을 보이지 않았지만, 고정핀을 식립하지 않았을 경우와 고정핀을 식립한 경우에는 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(그림 15).

임플란트 플랫폼에서의 거리 오차값(Csum)은 고정핀을 수직으로 식립하였을 때, 0.11 ± 0.05 mm로 나타났고, 고정핀을 수평으로 식립하였을 때, 0.17 ± 0.05 mm로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 0.29 ± 0.07 mm로 나타났다. 임플란트 근첨부에서의 거리 오차값(Asum)은 고정핀을 수직으로 식립하였을 때, 0.15 ± 0.06 mm로 나타났고, 고정핀을 수평으로 식립하였을 때, 0.18 ± 0.07 mm로 나타났다. 고정핀을 식립하지 않았을 때는 0.43 ± 0.10 mm로 나타났다. 고정핀을 수직 방향과 수평 방향으로 식립했을 때, 임플란트 플랫폼의 거리 오차와 근첨부 거리 오차는 통계적으로 유의성을 보이지 않았지만 고정핀을 식립하지 않았을 경우와 고정핀을 식립한 경우에는 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(그림 16).

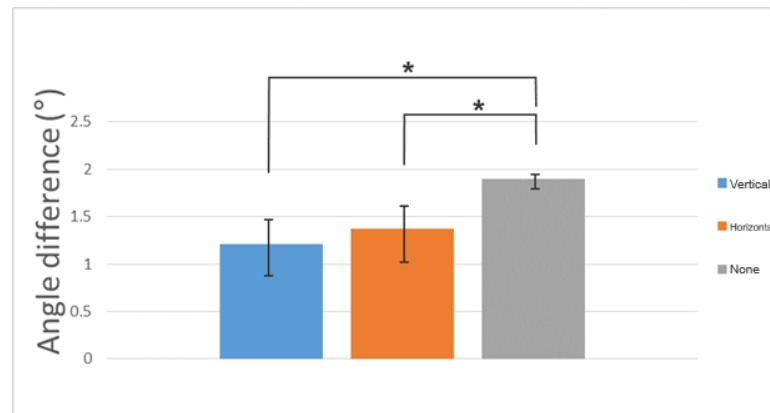


그림 15. 하악 우측 제 2 대구치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 각도 오차. *는 통계적 유의차가 있음을 의미함($P < 0.05$).

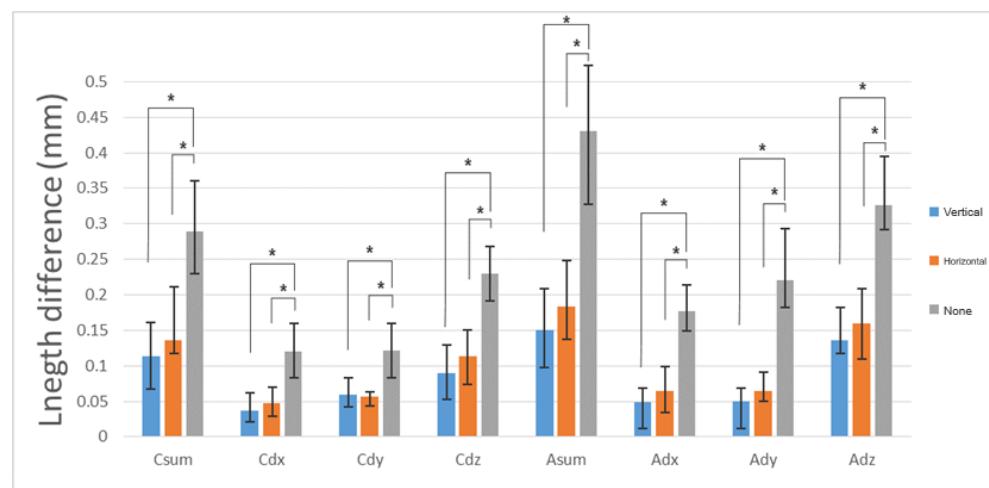


그림 16. 하악 우측 제 2 대구치에서 고정핀 식립 방향 및 유무에 따른 임플란트 식립 거리 오차. *는 통계적 유의차가 있음을 의미함($P < 0.05$).

4. 고찰

디지털 방식으로 제작 된 치과 임플란트 수술용 가이드를 이용한 임플란트 식립은 미리 계획 된 위치와 방향으로 식립 할 수 있지만, 수술용 가이드의 안정적인 유지성과 제작 과정 중 발생하는 오차로 인해 임플란트 식립 오차가 생기며 이를 줄이기 위해 수술용 가이드의 정확성을 높이기 위한 노력이 지속되어 왔다.

가상의 임플란트 플래닝과 실제 임플란트 식립 후 플래닝의 CT 중첩 후 분석은 각도 오차와 플랫폼 거리오차, 근첨부 거리오차의 기준으로 이루어졌다.

임플란트 식립 시 임플란트의 각도와 위치는 인접치와 관계와 치아 교합력의 분산, 하치조신경과 같은 해부학적 구조물과의 관계에서 매우 중요하므로 치료 계획 단계에서 정확하게 고려되어야 한다[35].

또한, 임플란트 수술용 가이드를 사용하여 임플란트를 식립 하는 경우에는 다양한 오차가 발생 할 수 있다. 여러 연구에 따르면 수술용 가이드 디자인 과정에 따른 요인, 환자의 구강 상태에 따른 요인, 잔존치 유무에 따른 수술용 가이드 고정력에 따른 요인이 존재한다[36-42].

본 연구에서는 수술용 가이드에서 고정용 핀의 식립 방향이 임플란트 식립 정확성에 영향을 미치는지에 대한 가정을 검증하였다. 수직 방향으로 고정용 핀이 식립된 1 군은 각도 오차는 $1.84 \pm 0.53^\circ$, 임플란트 플랫폼에서 거리 변위량은 0.43 ± 0.35 mm, 근첨부 변위량은 0.64 ± 0.53 mm로 나타났으며, 수평 방향으로 고정용 핀이 식립 된 2 군에서 각도 오차는 $1.94 \pm 0.50^\circ$, 임플란트 플랫폼에서 거리 변위량은 0.49 ± 0.38 mm, 근첨부 변위량은 0.73 ± 0.57 mm로 나타났다. 고정용 핀을 사용하지 않은 3 군의 각도 오차는 $2.47 \pm 0.63^\circ$, 임플란트 플랫폼에서 거리 변위량은 0.79 ± 0.50 mm, 근첨부 변위량은 1.15 ± 0.70 mm로 나타났다. 고정핀을 식립한 군과

식립 하지 않은 군의 각도 오차와 플랫폼 거리 오차, 근첨부 거리 오차는 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($P < 0.05$).

Sicilia 와 Botticelli [43]에 의하면 수술 가이드를 이용한 임플란트 식립 시 발생한 각도오차는 3.9° , 경부 변위량은 1.09 mm, 근첨부 변위량은 1.28 mm, 였으며, Schneider [44]에 의하면 각도 오차는 $5-6^\circ$, 경부 변위량은 1.1 mm, 근첨부 변위량은 각각 1.6 mm 였다. 또한 임플란트를 식립하는 과정에서 임플란트의 혼사 방향을 조절하려면 술자의 시각에 영향을 받게 되며, 이는 오차로 나타날 수 있다고 보고되었다[45]. 임플란트의 식립 각도 오차가 계획 된 임플란트의 식립 각도 오차보다 크게 되면 보철 수복에 어려움을 줄 수 있다. 또한 수술용 가이드를 정확하게 제작하여도 환자 구강 내 환경과 술자의 경험이 모두 다르기 때문에 같은 정확도를 나타낼 수 없다. 특히 발치와, 치조골의 두께 등 다양한 구강 환경으로 인해 가이드 수술이 실패할 수 있다고 보고되었다[46]. 하지만 일반적인 임플란트 수술 보다 가이드를 이용하여 임플란트를 식립 하는 것이 정확도가 높고 치료시간을 줄이며, 환자의 만족도를 향상시킨다고 보고되었다[47].

A.M. Ekram et al.,[48] 연구에 의하면 무치약 환자에서 수술용 가이드를 이용하여 임플란트 식립 시 발생한 각도 오차는 3.0° , 경부 변위량은 1.14mm, 첨부 변위량은 1.2mm 로 본 연구에서는 수술용 가이드 고정핀을 사용하여 임플란트를 식립한 경우 오차 범위 안에 들어가지만 고정핀을 사용하지 않고 임플란트를 식립한 경우에는 오차 범위를 벗어나기 때문에 고정핀을 사용하여 임플란트를 식립하는 것이 안전하다는 결과를 나타냈다.

본 연구의 한계점으로는 실제 환자 구강이 아닌 환자 구강과 유사한 모델을 사용하여 비교한 것이며, 실제 환자에게 수술용 가이드를 사용하고, 고정핀을 식립하여 임플란트 수술 시 환자의 구강 환경이 다르기 때문에 정확도가 다를 수

있다. 따라서 무치약 환자의 구강 환경과 골밀도 등을 고려하여 실제 환자에서 분석이 포함되어야 한다.

5. 결론

본 연구는 치과 임플란트 수술용 가이드 고정핀의 방향에 따라 임플란트 식립 정확도를 평가하고자 하였다. 계획된 임플란트와 실제 식립된 임플란트위 위치를 비교하여 각도 오차, 플랫폼 거리의 오차, 근첨부 거리의 오차를 측정하였다. 측정 결과를 토대로 임플란트 식립 정확도를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수술용 가이드 고정핀을 사용하여 식립한 임플란트 정확도가 고정핀을 사용하지 않고 식립한 임플란트 정확도 보다 통계적으로 유의미하게 높은 정확도를 나타냈다.
2. 수술용 가이드 고정핀의 방향은 임플란트 식립 정확도에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 않았다.
3. 수술용 가이드 고정핀을 사용하여 임플란트를 식립했을 경우와 고정핀을 사용하지 않고 임플란트를 식립했을 경우 모두 대구치, 소구치, 전치 순으로 높은 정확도를 나타냈다.

참고 문헌

1. Pjetursson BE, Thoma D, Jung R, Zwahlen M, Zembic A. A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses after a mean observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23 Suppl 6:22–38.
2. Buser D, Sennerby L, De Bruyn H. Modern implant dentistry based on osseointegration: 50 years of progress, current trends and open questions. *Periodontol 2000.* 2017;73(1):7–21.
3. Gallucci GO, Hamilton A, Zhou W, Buser D. Implant placement accuracy using dynamic navigation. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2018;33(2):447–453.
4. Kim KW, Lee KS, Kang PS, Kim WS. Comparison of chewing ability and quality of life before and after the dental implantation. *J Korean Acad Prosthodont* 2009;47(2): 215–221.
5. Vercruyssen M, Laleman I, Jacobs R, Quirynen M. Computer-supported implant planning and guided surgery: A narrative review. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26 Suppl 11:69–76.
6. Lee DH. Correct positioning of an implant fixture for achieving ideal aesthetics in the anterior maxilla. *Implantology* 2013;17(3):194–204.
7. Fang Y, Bai S, Zhang R, Wang G. Accuracy of computer-assisted guided implant surgery: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2022;37(5):103–117.

8. Pozzi A, Polizzi G, Moy PK. Guided surgery with tooth-supported templates for single implant placement: A retrospective analysis on implant accuracy. *Int J Prosthodont.* 2021;34(5):497–405.
9. Su T, Li P, Li Y, et al. The accuracy of 3D printing guide template in implant placement: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2021;36(1):28–40.
10. Kang N, Wu Y, Li C, Grover L, Mattheos N. The accuracy of computer-guided implant surgery and its sensitivity to implant positioning errors: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2020;31(10):1047–1060.
11. Kim JE, Shim JS, Kim M. Accuracy and complications associated with static computer-aided implant surgery: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont Res.* 2022;66(2):145–157.
12. Ryu JJ, Kim CH, Paek J, Choi JH. Influence of surgical template design and fixation methods on the accuracy of static computer-guided implant surgery in edentulous mandibles. *J Prosthet Dent.* 2023;129(3):391–398.
13. dos Santos PL, Pereira Queiroz TP, Margonar R, de Souza Carvalho, ACG, Betoni JW, Rezende RRR, dos Santos PH, Garcia JIR. Evaluation of bone heating, drill deformation, and drill roughness after implant osteotomy:guided surgery and classic drilling procedure. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 2014;29(1):51–58.
14. Cassetta M, Stefanelli LV, Pacifici A, Pacifici L, Barbato E. The influence of guide template support and fixation on the accuracy of computer-guided implant

placement: A comparative in vitro study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2023;38(2):337–345.

15. Joda T, Wittneben JG, Brägger U, et al. Digital implant dentistry: workflows, components, and software tools. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2021;36(Suppl):s67–s78.
16. Ackerman CM, Putrino A, Neiva G, Tovar N, January SM. Accuracy of computer-guided implant placement in edentulous patients with different degrees of mucosal support: A retrospective cohort study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2020;35(6):1113–1119.
17. Shim JS, Kim JE, Kim M. The effect of surgical guide design and fixation on implant placement accuracy: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2022;128(2):288–295.
18. D'haese J, Van De Velde T, Komiya A, Hultin M, De Bruyn H. Accuracy and complications using computer-designed stereolithographic surgical guides for oral implant placement: a systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14(3):321–335.
19. Katsoulis J, Pazera P, Mericske-Stern R. Prosthetically driven, computer-guided implant planning for the edentulous maxilla: a model study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2021;23(3):375–384.
20. Verhamme LM, Meijer GJ, Boumans LJC, de Haan AFJ, Raghoebar GM. A systematic review of computer-guided implant placement accuracy and the influence of possible variables. *Clin Oral Implants Res.* 2020;31(4):417–435.

21. Ganz SD. Three-dimensional imaging and guided surgery for dental implants. *Dent Clin North Am.* 2015;59(2):265–290.
22. Van Steenberghe D, Naert I, Andersson M, Brajnovic I, Van Cleynenbreugel J, Suetens P. A custom template and definitive prosthesis allowing immediate implant loading in the maxilla: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2002;17:663–670.
23. D'haese J, Van De Velde T, Komiyama A, Hultin M, De Bruyn H. Accuracy and complications using computer-designed stereolithographic surgical guides for oral rehabilitation by means of dental implants: A Review of the literature. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14:321–335.
24. Junesung Shim, Namhoon Kim, Jongeun, Kim. A procedure for the computer-guided implant planning: A narrative review. *Journal of the Korean Dental Association.* 2016;54:108–122.
25. Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N. Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2003;18:571.
26. Van Steenberghe D, Naert I, Andersson M, Brajnovic I, Van Cleynenbreugel J, Suetens P. A custom template and definitive prosthesis allowing immediate implant loading in the maxilla: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2002;17:663–670.
27. Van Steenberghe D, Malevez C, Van Cleynenbreugel J, Serhal CB, Dhoore E, Schutyser F, et al. Accuracy of drilling guides for transfer from three-dimensional CT-based planning to placement of zygoma implants in human cadavers. *Clin Oral Implants Res.* 2003;14:131.

28. Van de Velde T, Glor F, De Bruyn H. A model study on flapless implant placement by clinicians with a different experience level in implant surgery. *Clin Oral Implants Res.* 2008;19:660–672.
29. Van Assche N, Van Steenberghe D, Guerrero M, Hirsch E, Schutyser F, Quirynen M, et al. Accuracy of implant placement based on pre-surgical planning of three-dimensional cone-beam images: a pilot study. *J Clin Periodontol.* 2007;34:816–821.
30. Sarment DP, Al-Shammari K, Kazor CE. Stereolithographic surgical templates for placement of dental implants in complex cases. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2003;23:287–295.
31. Ruppin J, Popovic A, Strauss M, Spüntrup E, Steiner A, Stoll C. Evaluation of the accuracy of three different computer-aided surgery systems in dental implantology: optical tracking vs. stereolithographic splint systems. *Clin Oral Implants Res.* 2008;19:709–716.
32. Giacomo GAD, Cury PR, Araujo NSd, Sendyk WR, Sendyk CL. Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement: preliminary results. *J Periodontol.* 2005;76:503–507.
33. Ozan O, Turkyilmaz I, Ersoy AE, McGlumphy EA, Rosensti el SF. Clinical accuracy of 3 different types of computed tomography–derived stereolithographic surgical guides in implant placement. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67:394–301.
34. Misch CE, Qu Z, Bidez MW. Mechanical properties of trabecular bone in the human mandible: implications for dental implant treatment planning and surgical placement. *J Oral Maxillofac Surg* 1999;57:700–6; discussion 6–8

35. Al Quran, Firas A., Rashdan, Bashar A., Abu Zomar, AbdelRahman A., Weiner, Saul. Passive fit and accuracy of three dental implant impression techniques. *Quintessence Int.* 2012;43:119–125.
36. Zhou W, Liu Z, Song L, Kuo CI, Shafer DM. Clinical factors affecting the accuracy of guided implant surgery—a systematic review and meta-analysis. *Journal of Evidence Based Dental Practice* 2018;18(1):280–240.
37. Geng W, Liu C, Su Y, Li J, Zhou Y. Accuracy of different types of computer-aided design/computer-aided manufacturing surgical guides for dental implant placement. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine* 2015;8(6):8442–8449.
38. Matsumura A, Nakano T, Ono S, Kaminaka A, Yatani H, Kabata D. Multivariate analysis of causal factors influencing accuracy of guided implant surgery for partial edentulism: a retrospective clinical study. *International Journal of Implant Dentistry* 2021;7(1):28.
39. Hinckfuss S, Conrad HJ, Lin L, Lunos S, Seong WJ. Effect of surgical guide design and surgeon's experience on the accuracy of implant placement. *Journal of Oral Implantology* 2012;38(4):311–323
40. Liang X, Jacobs R, Hassan B, Li L, Pauwels R, Corpas L, Souza PC, Martens W, Shahbazian M, Alonso A, Lambrechts I. A comparative evaluation of cone beam computed tomography (CBCT) and multi-slice CT (MSCT): Part I. On subjective image quality. *European Journal of Radiology* 2010;75(2):265–269.

41. Abduo J, Lau D. Effect of Manufacturing Technique on the Accuracy of Surgical Guides for Static Computer–Aided Implant Surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* 2020;35(5):931–938.
42. Rubayo DD, Phasuk K, Vickery JM, Morton D, Lin WS. Influences of build angle on the accuracy, printing time, and material consumption of additively manufactured surgical templates. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2021;126(5):658–663.
43. Sicilia A, Botticelli D. Computer-guided implant therapy and soft-and hard-tissue aspects. *The Third EAO Consensus Conference 2012. Clin Oral Implants Res.* 2012;23:157–161.
44. Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M, Jung RE. A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry. *ClinOral Implants Res.* 2009;20:730–786.
45. Lee DH, An SY, Hong MH, Jeon KB, Lee KB. Accuracy of a direct drill–guiding system with minimal tolerance of surgical instruments used for implant surgery: a prospective clinical study. *The journal of advanced prosthetic dentistry* 2016;8(3):207–213.
46. Al Yafi F, Camenisch B, Al-sabbagh M. Is Digital Guided Implant Surgery Accurate and Reliable. *The Dental clinics of North America* 2019;63(3):381–397.
47. Mahmoud, N. R., Eldin, M. H. K., & Diab, M. H. (2024). Computer guided vs. freehand dental implant surgery: Randomized controlled clinical trial. *The Saudi Dental Journal*, 36(2), 259–266.

48. A.M. Ekram et al. Full digital workflow for prosthetic driven implant planning and surgical guide fabrication without the need for scan appliance: a case report
Dental Implant Research 2024; 43(3): 330–380

ABSTRACT

The Influence of Fixation Pin Direction in Fully Edentulous Surgical Guides on the Accuracy of Dental Implant Placement

Purpose. The use of surgical guides in dental implant placement helps ensure implants are positioned and oriented as planned. Previous studies on the accuracy of surgical guides have included diverse forms of guides, patient cases, and manufacturing methods, often involving residual dentition, making it difficult to objectively compare the accuracy of surgical guides used for fully edentulous patients. Moreover, studies on the direction of fixation pins in surgical guides for fully edentulous cases are scarce. This study aimed to investigate the effect of fixation pin direction on implant placement accuracy in fully edentulous models. Surgical guides were fabricated with fixation pins positioned either vertically or horizontally and analyzed for their influence on placement accuracy.

Methods. Two types of surgical guides were fabricated for fully edentulous models, one with vertically positioned fixation pins and the other with horizontally positioned pins. Additionally, a guide without fixation pins was included, resulting in three types of guides. Using Implant Studio, surgical guides were designed and

planned for implant placement. Fixation pins were positioned in a triangular arrangement at the right posterior, left posterior, and anterior regions. Implant sites were planned at the mandibular right second molar, mandibular right lateral incisor, and mandibular left first premolar. The surgical guides were manufactured using a 3D printer and attached to 21 total models. For Groups 1 and 2, fixation pins (2.0 mm in diameter, 18.0 mm in length) were placed in the right posterior, left posterior, and anterior regions, respectively. In all three groups, implants (4.0 mm in diameter, 11.5 mm in length) were placed sequentially in the mandibular right second molar, mandibular left first premolar, and mandibular right lateral incisor. Post-placement, CBCT scans of the models were taken, and preoperative and postoperative DICOM files were superimposed to compare planned implant positions with actual placements. Analyses included displacement at the implant platform, displacement at the apex, and angular deviations. Statistical analyses were performed using SAS version 9.4. Normality was assessed via the Shapiro-Wilk test, and differences between groups were analyzed using ANOVA, with post-hoc tests conducted via the Bonferroni correction method. Statistical significance was set at $p<0.05$.

Results. In Group 1 (vertical fixation pins), angular deviation was $1.84\pm0.53^\circ$, platform displacement was 0.43 ± 0.35 mm, and apical displacement was 0.64 ± 0.53 mm. In Group 2 (horizontal fixation pins), angular deviation was $1.94\pm0.50^\circ$, platform displacement was 0.49 ± 0.38 mm, and apical displacement was 0.73 ± 0.57 mm. Group 3 (no fixation pins) showed higher angular deviation ($2.47\pm0.63^\circ$), platform displacement (0.79 ± 0.50 mm), and apical displacement

(1.15 ± 0.70 mm). Surgical guides with fixation pins demonstrated smaller deviations compared to guides without fixation pins.

For implant placements based on tooth location Mandibular right lateral incisor: Group 1 showed angular deviation of $2.39 \pm 0.14^\circ$, platform displacement of 0.85 ± 0.12 mm, and apical displacement of 1.30 ± 0.28 mm. Group 2 showed angular deviation of $2.46 \pm 0.14^\circ$, platform displacement of 0.96 ± 0.21 mm, and apical displacement of 1.44 ± 0.29 mm. Group 3 showed angular deviation of $3.28 \pm 0.32^\circ$, platform displacement of 1.43 ± 0.12 mm, and apical displacement of 2.06 ± 0.12 mm.

Mandibular left first premolar: Group 1 showed angular deviation of $1.92 \pm 0.13^\circ$, platform displacement of 0.32 ± 0.12 mm, and apical displacement of 0.46 ± 0.18 mm. Group 2 showed angular deviation of $1.98 \pm 0.14^\circ$, platform displacement of 0.38 ± 0.12 mm, and apical displacement of 0.56 ± 0.19 mm. Group 3 showed angular deviation of $2.23 \pm 0.05^\circ$, platform displacement of 0.64 ± 0.06 mm, and apical displacement of 0.95 ± 0.11 mm.

Mandibular right second molar: Group 1 showed angular deviation of $1.21 \pm 0.28^\circ$, platform displacement of 0.11 ± 0.05 mm, and apical displacement of 0.15 ± 0.06 mm. Group 2 showed angular deviation of $1.37 \pm 0.30^\circ$, platform displacement of 0.17 ± 0.05 mm, and apical displacement of 0.18 ± 0.07 mm. Group 3 showed angular deviation of $1.89 \pm 0.07^\circ$, platform displacement of 0.29 ± 0.07 mm, and apical displacement of 0.43 ± 0.10 mm.



Conclusion. Surgical guides with fixation pins demonstrated higher implant placement accuracy compared to guides without fixation pins. However, the direction of fixation pin placement (vertical or horizontal) did not significantly affect accuracy. Implant placement accuracy, regardless of whether fixation pins were used, was highest in molars, followed by premolars and incisors.

Key words: dental Implant; surgical guide; computer-aided surgery; surgical guide fixation pin; fixation pin directio