



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](#)

2023년 8월
박사학위 논문

임플란트 보철 스크류 홀의 위치 분석 연구

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 선 행

임플란트 보철 스크류 홀의 위치 분석 연구

Analysis of Screw Hole Location on Implant Prosthesis

2023년 08월 25일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 선 행

임플란트 보철 스크류 홀의 위치 분석 연구

지도교수 이 경 제

이 논문을 치의학 박사학위신청 논문으로 제출함

2023년 04월

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 선 행

이선행의 박사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 안 종 모 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 희 중 (인)

위 원 전남대학교 교수 윤 귀 덕 (인)

위 원 조선대학교 교수 유 재 식 (인)

위 원 조선대학교 교수 이 경 제 (인)

2023년 6월

조선대학교 대학원

목 차

영문초록	vi
I. 서 론	1
II. 연구 대상 및 방법	4
III. 연구 결과 및 통계분석	14
IV. 총괄 및 고찰	23
V. 결 론	30
참고문헌	31

표 목 차

Table 1. Patients and teeth number of this study. Group A: non-guided surgery group, Group B: guided surgery group	5
Table 2. Number of subjects according to the tooth type in group A	5
Table 3. Number of subjects according to the position of arch(maxilla and mandible) in group A	5
Table 4. Number of subjects according to the position at arch(left and right) in group A	5
Table 5. Number and ratio of screw holes located in each zone according to the tooth type in group A	15
Table 6. Number and ratio of screw holes located in each zone according to the position of arch in group A	18
Table 7. Number and ratio of screw holes located in each zone according to the position at each arch(left and right) in group A	20
Table 8. Number and ratio of screw holes located in each zone according to whether the guide is used or not. Group A: non-guided surgery group, Group B: guided surgery group	21
Table 9. Mean and dispersion of the numbers assigned to each grid in group A and group B.	22

도 목 차

Fig. 1. STL file capture image of implant prosthesis occlusion surface manufactured using CAD(DentalCAD, exocad GmbH, Darmstadt, Germany) program.	10
Fig. 2. Indication of screw hole center. A quadrant was formed along the outer diameter of the screw hole(blue dotted line), and its center was set to the position of the screw hole(blue dot).	10
Fig. 3. The formation of a grid dividing the occlusal surface into nine equal parts. The grid was formed based on the outermost line of buccal, palatal(lingual), mesial and distal boundary of occlusal surface(red dotted line).	11
Fig. 4. Classification of grids by screw hole position. Zone A: center of occlusal surface(blue colored grid), Zone B: mesial/ distal grids from center grid and grid on functional cusp(yellow colored grid), Zone C: grids on the line angle area and grid on non-functional cusp(red colored grid).	12
Fig. 5. Numbering to measure the dispersion of implant screw hole positions in group A and group B.	12
Fig. 6. Ratio of screw hole located according to tooth type in group A. ...	15
Fig. 7. Combined ratio of screw hole location in group A.	16

Fig. 8. The ratio of the location distribution of the screw hole converted into an area based on zone C as degree 1.0 in group A. 16

Fig. 9. Ratio of screw hole located in zone A according to tooth type in group A. 17

Fig. 10. Ratio of screw hole located in each zone according to the position of arch in group A. 18

Fig. 11. Ratio of screw hole located in each zone according to the position at each arch(left and right) in group A. 19

Fig. 12. Ratio of screw hole located in zone A in each group. Group A: non-guided surgery group, Group B: guided surgery group. 21

Abstract

Analysis of Screw Hole Location on Implant Prosthesis

Lee, Sun-Haeng, D.D.S

Advisor : Prof. Lee, Gyeong-Je, D.D.S., Ph.D.

Department of Dentistry

Graduate School of Chosun University

Dental implants are a very effective treatment that restores the function and aesthetics of missing teeth. However, implants have a biomechanically disadvantageous structure compared to natural teeth due to a lack of periodontal ligaments, a lack of protective reflection, and a lack of buffering ability against the occlusal loading. In order to compensate for the structural limitations of these implants, occlusal considerations are essential to minimize the stress applied to the implants. In this study, we tried to verify whether the basic biomechanical principle that stress should be applied along the long axis of the implant fixture is appropriately applied to actual implant clinical treatments. Accordingly, the accuracy of implant placement was indirectly confirmed through the location of the screw hole to see if the implant long axis was located at the center of the occlusion surface using the image of the STL file formed during the digital laboratory process. 275 patients and 438 teeth were included in this study. The number of samples by tooth type was 57 in the first premolar, 66 in the second premolar, 152 in the first molar, and 117 in the second molar,

respectively. The occlusal surfaces of the implant's crown were divided in nine equal grids based on the outermost boundary, and the position of the screw holes was analyzed. With the limitation of this study, following conclusions were obtained from the observations of the experimental group(group A) without the guide and the control group (group B) with the guide. In Group A, the accuracy of implant placement decreases from premolars to molars. In Group A, the accuracy of implant placement in the upper jaw was lower than that of the lower jaw, and the accuracy on the right side was lower than that on the left side. In Group A, the accuracy of implant placement was higher than in group B.

I. 서론

20세기 초반에 치과용 주조법이 소개되기 이전의 치의학은 매우 단순하였다. 치주염이나 치아우식증에 의해 고통받은 치아를 발치하는 것이 20세기 이전에 치과의사가 할 수 있는 거의 유일한 치과적 처치였다. 이런 이유로 인해 예전 치과의사의 주된 관심사는 의치의 제작이라고도 볼 수 있었으며, 자연치열에 총의치의 교합인 양 측정 균형교합을 접목하고자 하는 시도가 있었음은 주지하고 있는 교합학 발전의 중요한 역사적 사실이다. 그러나 20세기 초반 치과용 주조법의 개발을 필두로 치과용 하이스피드 핸드피스의 개발, 광중합 복합레진의 개발 등의 혁신적인 발전으로 치의학은 그 이전의 시대에 비하여 눈부신 발전을 이룩해 오고 있다. 게다가 1980년대부터 본격적으로 이용되기 시작한 치과용 임플란트는 무치악 치조제의 보철적 수복에 대한 획기적인 도약을 가능하게 하여 치의학 전반의 혁신을 견인하였다¹⁻⁷.

이러한 임플란트를 이용한 치료법에는 고정성 교의치 형태의 임플란트 고정성 의치와 소수의 임플란트 고정체를 골내에 식립 후 이를 이용한 임플란트 피개의치, 그리고 임플란트를 이용한 악안면 보철물의 고정원 보강 등의 치료법 등 단일 치아의 결손에서부터 완전무치악에 이르기까지 다양한 형태와 방법으로 시행되고 있다⁸⁻⁹. 최근에는 디지털 치의학 기술의 발전에 따라 CAD(computer aided design) 프로그램에서 미리 설계된 보철물의 형태를 바탕으로 4개에서 6개 정도의 비교적 소수의 임플란트를 골질과 골량이 양호한 부위에 계획된 위치와 각도로 식립하고, 별도의 복잡한 기공과정이 생략된 기성부품을 연결하여 빠르고 간편하게 고정성 보철물로서 수복하는 'all on x' 형태의 임플란트 치료 방식이 각광받고 있다. 이처럼 임플란트를 활용한 치과치료는 기술과 재료의 발전에 따라 혁신적으로 발전하고 있으며, 이러한 발전의 추세는 앞으로도 지속될 것으로 보인다.

이러한 임플란트 성공의 기준이 많은 선학들에 의해 제시되어왔으며, 그 중 선도

적 연구자인 Albrektsson 등¹¹이 제시한 기준은 다음과 같다. 임상 검사 시 개개의 연결되지 않은 임플란트의 동요가 없어야 하며, 방사선적으로 임플란트 주변에 어떠한 방사선 투과상도 없어야 한다. 임플란트 기능 후 매년 0.2mm 이하의 수직 골흡수만 있어야 하며, 지속적이거나 비가역적 증상이나 동통, 감염, 신경이상, 지각이상, 하악관의 침범 등과 같은 합병증이 없어야 한다. 마지막으로 5년의 관찰기간 동안에 85%의 성공률, 10년의 관찰기간 동안 80%의 성공률을 보여야 한다. 임플란트 성공의 기준에 관한 유명한 Albrektsson 등의 논문 이외에도 다양한 성공의 기준들이 제시되고 있는데 대부분 경조직, 연조직, 보철적 합병증이 없이 편안한 상태를 유지하고, 임플란트를 이용한 보철이 기능적으로 작용할 뿐 아니라 골흡수량이 매우 작아야 한다는 조건들을 제시하고 있다¹². 이와 같은 성공적인 임플란트를 치료를 위해 임플란트 수술과정에서 고정체의 형태, 표면처리 방식, 직경, 길이 등의 고정체 식립을 위해 수술적 고려사항뿐 아니라 임플란트 보철수복 시 보철물 재질, 연결방식, 유지관리에 용이한 형태 등의 수술적 고려사항도 있다^{13,14}.

그 중 임플란트 보철에 가해지는 교합력의 절대적 크기, 임플란트에 의해 지지되는 캔틸레버의 길이, 교합력이 가해지는 방향 등 임플란트의 교합의 성패는 보철물의 성패에 절대적인 영향을 미치는 요소이다¹⁴⁻¹⁸. 이렇게 임플란트 성공을 위해 안정적인 교합관계 설정이 중요하고 임상에서는 이에 대한 고려를 통해 조화로운 교합력이 가해지는 기능적이고 편안한 보철물의 제작에 노력해야 할 것이다.

자연치아는 치주인대라는 완충구조를 통해 교합력을 치조골과 기저골로 효과적으로 분산시켜 과도하거나 잘못된 방향의 교합력에 의한 치아 및 지지구조의 외상을 최소화시킨다¹⁹⁻²¹. 이에 반해 임플란트는 치주인대의 결여, 직접적인 골-임플란트 결합, 임플란트에 접촉하는 해면골의 높은 탄성계수, 감각신경의 부재, 임플란트의 구조 한계, 금속이나 도재로 이루어진 교합면 재료 및 유해수용성 반사의 결여 등의 불리한 면이 있다. 이 때문에 임플란트에 부여되는 교합접촉의 중요성이 더욱 크다고 볼 수 있다²².

최근에 여러 방식의 임플란트 상부보철물과 지대주의 연결방식이 소개되고 있지만 전통적인 연결방식은 시멘트 유지형과 나사유지형으로 나뉜다. 나사유지형의 경우 착탈의 용이성, 임플란트 탈락의 예지성 확보, 교합간 거리가 부족한 경우에도 높은 유지력 제공 그리고 임플란트 주변 연조직에 잉여 시멘트가 잔존한 가능성이 없는 등의 장점이 있어 초창기의 임플란트 보철물의 연결방식으로 사용되었으며, 현재까지도 많은 임상들이 사용하는 방식이다. 그러나 나사유지형 임플란트 보철의 경우 나사 풀림이 잦고, 스크류 홀이 완전히 밀봉되지 않는 경우 그 내부에서 세균의 번식할 수 있는 단점이 있다. 그러나 무엇보다도 상부보철물 교합면의 중앙에 스크류의 삽입 철거를 위한 스크류 홀이 형성되어 이 부위를 비롯하여 바로 인접한 교합면 부위에 교합접촉점을 형성할 수 없는 치명적인 단점이 존재한다²²⁻²⁹.

이에 반해 시멘트 유지형의 경우 임플란트 보철이 잘 탈락되며, 이 보철물이 탈락되는 시기를 예측할 수 없다는 단점이 존재하기는 하나 지대주와 상부보철물 간의 양호한 적합, 부하(load) 방향의 개선, 심미성 개선, 합병증의 감소, 비용이나 시간의 감소 등의 장점이 있으며 무엇보다도 교합면에 나사의 삽입 및 철거를 위한 스크류 홀이 필요 없어 교합접촉점의 부여에 훨씬 유리한 장점이 있다²². 하지만 어느 방식의 임플란트라 하더라도 임플란트의 올바른 식립 위치가 임플란트의 교합접촉의 부여에 중요한 역할을 하며, 나아가 임플란트 치료의 전체적인 성공률에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다³⁰⁻³³.

최근 디지털 치의학 기술의 눈부신 발전에 따라 정확한 임플란트 식립을 위한 임플란트 가이드 수술이 활발하게 시행되고 있으며, 이에 따라 임플란트 식립의 정확도 비약적으로 향상되었을 뿐 아니라, 보철수복의 시간이 단축되었으며, 그 과정도 간편해졌다. 그뿐만 아니라 CAD 상에서 디자인되어 수술 전 미리 제작된 보철물을 이용한 즉시 부하 등의 임플란트 시술의 극적인 발전을 이루게 되었다³⁴⁻³⁷. 이에 본 연구에서는 임플란트 기공과정에서 형성된 교합면 상의 스크류 홀의 위치를 분석하여 구치부 임플란트의 전반적인 식립의 정확성을 비교하고자 하였다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

2010년 1월부터 2020년 4월까지 조선대학교 치과병원을 내원한 환자 중 임플란트센터에서 임플란트 치료를 시행 받은 환자를 대상으로 연구를 시행하였다. 본 연구는 조선대학교치과병원 기관생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 심의를 거쳐 승인 후 시행되었다(승인번호 CUDHIRB 2101 004). 구치부 임플란트 보철의 기공과정 상의 CAD 과정에서 발생된 STL(Stereolithographic) 파일을 이용하여 조사를 진행하였다. 전치부의 경우, 심미성을 중시하여 나사유지형이 아닌 시멘트유지형을 사용하는 경우가 많으므로 본 연구에서는 전치부 임플란트의 스크류 홀의 위치에 관한 조사는 시행하지 않았다.

1) 실험군의 수

구치부 임플란트에서 식립의 정확도를 평가하기 위해 구치부 임플란트 교합면 상에 위치하게 되는 임플란트 스크류 홀의 위치를 파악하였다. 본 연구의 실험대상에 포함된 환자는 총 275명이었으며, 가이드를 사용하지 않고 수술한 군(group A)이 261명이고 가이드를 사용하여 수술한 군(group B)이 14명이었다. 치아의 개수는 총 438개(group A: 392개, group B: 46개)가 실험에 이용되었다(Table 1). 치아 종류별 표본의 개수는 각각 제1 소구치 57개, 제2 소구치 66개, 제1 대구치 152개, 제2 대구치 117개이었다. 상악과 하악에 따른 표본의 개수는 상악 206개, 하악 186개이었다. 악궁의 좌우에 따른 표본의 개수는 좌측 악궁 207개, 우측 악궁 185개이었다(Table 2).

Table 1. Patients and teeth number of this study. Group A: non-guided surgery group, Group B: guided surgery group

Implant surgery method	Group A	Group B	Total
Patient	261	14	275
Tooth	392	46	438

(unit: number)

Table 2. Number of subjects according to the tooth type in group A

Tooth type	1 st premolar	2 nd premolar	1 st molar	2 nd molar	Total
Subject	57	66	152	117	392

(unit: number)

Table 3. Number of subjects according to the position of arch(maxilla and mandible) in group A

Tooth type	Maxilla	Mandible	Total
Subject	206	186	392

(unit: number)

Table 4. Number of subjects according to the position at arch(left and right) in group A

Tooth type	Left	Right	Total
Subject	207	185	392

(unit: number)

2) 선정기준

본 연구의 실험군 선정기준은 다음과 같다.

(1) 선정기준

- 만 18세 이상의 성인인 경우
- 소구치와 대구치 부위에 임플란트 지지 고정성 의치로 치료를 받은 환자
- Angle's class 1에 해당하는 정상교합 환자

(2) 제외기준

- 만 18세 미만의 소아 및 청소년인 경우
- 전치부 임플란트 치료를 받은 경우
- 임플란트 피개의치로 치료를 받은 경우
- 임플란트 하이브리드 보철로 치료를 받은 경우
- 임플란트 연관 국소의치의 지대치로 사용된 경우
- 정상적인 해부학적 치관의 형태를 재현할 수 없는 경우
- 완전무치악의 임플란트 식립 증례
- Angle's class 2 또는 3에 해당하는 부정교합 환자

3) 실험군의 분류

실험에 이용된 구치부 임플란트의 평가를 위해 아래와 같은 기준으로 실험군을 분류하였다. 가이드를 사용하지 않은 그룹(group A)를 실험군으로 설정하였으며, 가이드를 사용한 그룹(group B)를 실험군으로 설정하였다.

(1) 치아의 종류에 따른 식립의 정확도

구치부 치아의 종류에 임플란트 식립의 정확도를 평가하기 위해 각 치아의 종류별로 제 1소구치, 제 2소구치, 제 1대구치, 제 2대구치로 구분하여 교합면 상에 위치한 임플란트 스크류 홀의 위치를 계측하였다. 이는 후방의 치아로 갈수록 술자의 시야가 제한되고, 기구의 접근성이 불리해질 뿐 아니라 해부학적 구조의 제한으로 수술의 난이도가 높아져 정확한 임플란트의 식립이 어려워 짐을 검증하기 위함이다. 실제 Jung 등³⁸의 논문에 의하면 후방의 임플란트의 실패율이 더 높게 나타났다는 보고를 하였는데, 그 원인 중의 하나로 임플란트 식립을 어렵게 하는 시야 및 접근의 제한으로 제시한 바 있다.

(2) 악궁 별 식립의 정확도

상악과 하악 별 악궁에 따른 식립의 정확도를 분석하기 위해 상악과 하악으로 치아로 분류하여 비교하였다. 이는 상악과 하악의 임플란트 식립 시 진료대의 위치가 달라지므로 이에 따른 임플란트 식립 시 영향을 분석하고자 하였다. Shoji³⁹의 연구에 의하면 상악과 같이 직접적인 시야를 확보하기 어려운 부위의 치과진료 시 거울을 활용한 간접시야의 사용을 권장하였다. 이는 시야확보를 위해 상체를 과도하게 굽히거나 비틀게 되어 자세의 균형이 무너지게 되어 치료결과에 악영향을 미칠 수 있기 때문이다.

(3) 좌우 악궁별 식립의 정확도

정중선을 기준으로 좌측과 우측의 치아로 구분하여 좌우에 따른 임플란트 스크류
 홀의 위치를 분석하였다. 이 역시 임플란트 식립 시 술자의 구강에 접근 각도가 달라
 질 뿐 아니라 대부분의 임상이가 오른 손을 주로 사용하는데 착안하여 이에 따른 영
 향을 분석하고자 하였다. 어떤 부위의 경우 직접적 시야를 확보할 수 없어 임플란트
 식립 시 술자의 자세를 비정상적으로 변형시킬 우려가 있고, 이런 변형된 자세가 식
 립의 결과에 영향을 미칠 수 있음을 검증하고자 하였다. 실험군으로 이용된 임플란트
 는 모두 오른 손을 사용하는 임상이에 의해 식립되었다³⁹.

(4) 가이드 사용에 따른 식립의 정확도(실험군과 대조군의 비교)

임플란트 수술 시 가이드 사용 여부에 따라 가이드 없이 식립된 group A와 가
 이드를 사용한 group B에 대하여 각각 계측을 시행하였다. 디지털 치의학 기술의 발
 달로 임플란트 식립 시 가이드 수술이 일상화되었으며, 이러한 가이드를 이용한 임플
 란트 수술 시 정확도가 비약적으로 향상된다는 많은 연구가 있다³⁴⁻³⁷. 본 연구에서는
 ‘보철물은 기반으로 한 임플란트 수술’의 관점에서 임플란트 식립의 정확도를 분석하
 고자 하였다.

4) 실험 방법

(1) 스크류 홀의 위치 결정

임플란트 보철물의 디지털 기공과정의 CAD 프로그램(DentalCAD, exocad GmbH, Darmstadt, Germany)을 이용하여 임플란트 상부 보철물을 디자인하고, CAD 프로그램 상에서 형성된 교합면의 STL file을 이미지로 캡처하였다(Fig. 1). 이를 프리젠테이션 프로그램(PowerPoint, Microsoft, Redmond, WA, USA)을 이용하여 교합면 상의 나사 구멍의 외측 반경을 따라 균등한 크기로 4등분하고, 그 중앙을 스크류 홀의 위치로 설정하였다(Fig. 2).

(2) 교합면 상 균분된 격자 형성

임플란트 스크류 홀의 위치를 결정한 후 교합면을 9등분 하는 격자를 협측 최외방선과 구개측 또는 설측의 최외방선, 근심측 최외방선 및 원심측 최외방선을 기준으로 하여 형성하였다(Fig. 3). 임플란트 보철물의 외형 및 스크류 홀의 위치를 정확히 파악하기 위해 캡처한 STL 파일의 이미지는 흑백으로 변환하여 계측되었다. 치아의 크기와 교합면 상의 비율이 다르므로 격자의 크기가 변하지 않도록 각 격자를 형성하는 직선을 그룹으로 지정하여 기준점이 변하더라도 각 격자의 크기가 균등하도록 설정한 후 치아 교합면의 형태에 맞게 이를 조절하였다.

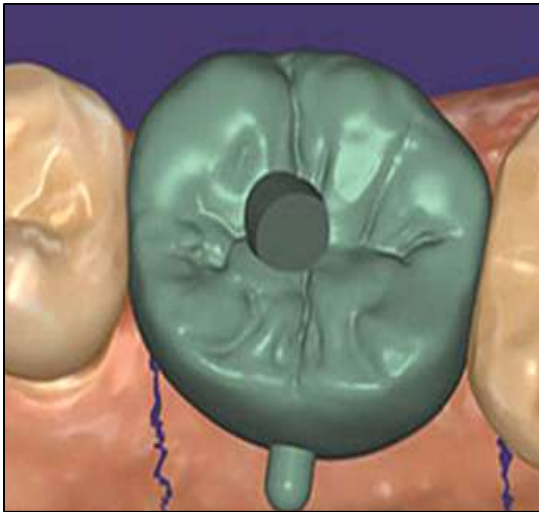


Fig. 1. STL file capture image of implant prosthesis occlusion surface manufactured using CAD(DentalCAD, exocad GmbH, Darmstadt, Germany) program.

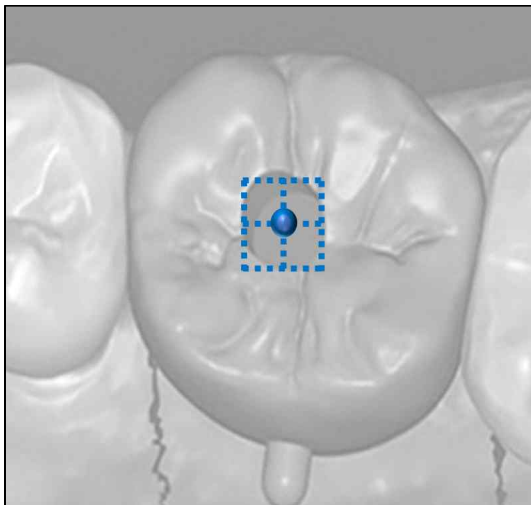


Fig. 2. Indication of screw hole center. A quadrant was formed along the outer diameter of the screw hole(blue dotted line), and its center was set to the position of the screw hole(blue dot).

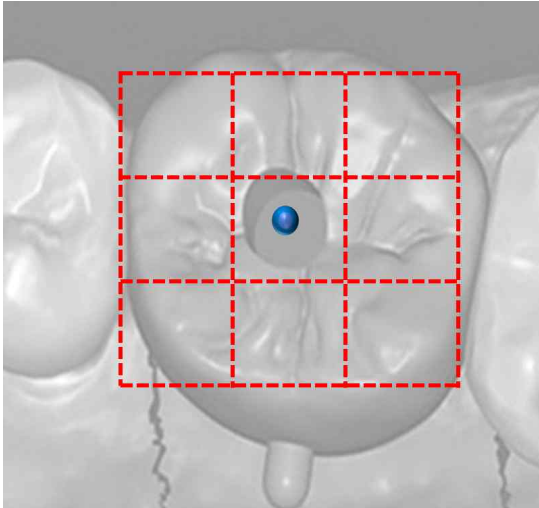


Fig. 3. The formation of a grid dividing the occlusal surface into nine equal parts. The grid was formed based on the outermost line of buccal, palatal(lingual), mesial and distal boundary of occlusal surface(red dotted line).

(3) 균분된 격자의 등급 및 번호 부여

임플란트 교합면 상 형성된 격자를 9개의 구획으로 나누어 각각의 구획을 스크류 홀의 위치의 양호도에 따라 zone A, zone B, zone C로 나누어 등급을 부여하였다. 그 중 zone A는 9개의 구획 중 교합면의 중앙에 스크류 홀이 위치하는 경우로 교합면의 중앙과 임플란트 고정체의 장축이 일치하여 임플란트에 최소의 굽힘력이 작용되는 가장 바람직한 형태의 스크류 홀의 위치를 나타낸다. Zone B는 교합면의 근심 중앙, 원심 중앙 그리고 기능교두 부위를 나타내며, 상악의 경우 중심 구획에 대해 구개측, 하악의 경우 중심 구획에 대해 협측에 위치하는 구획을 의미한다. 마지막으로 zone C의 경우는 가장 불리한 경우로 중심구획에 대해 대각선 위치에 있는 근심, 원심, 협측, 설측 선각 부위 및 비기능교두 부위를 의미한다(Fig. 4). 표본 수의 현저한 차이로 인해 t-test 시행할 수 없는 group A와 group B의 임플란트 식립의 정확성 비교를 위한 분산(dispersion)을 측정하기 위해 각 격자는 근심협측 구획부터 원심설측(원심구개측)까지 1에서 9까지의 번호를 부여하였다(Fig. 5)

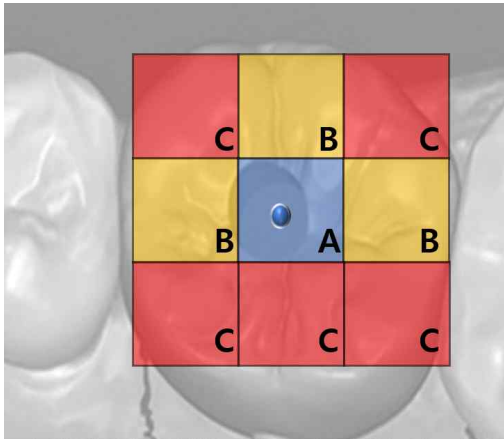


Fig. 4. Classification of grids by screw hole position. Zone A: center of occlusal surface(blue colored grid), Zone B: mesial/ distal grids from center grid and grid on functional cusp(yellow colored grid), Zone C: grids on the line angle area and grid on non-functional cusp(red colored grid).

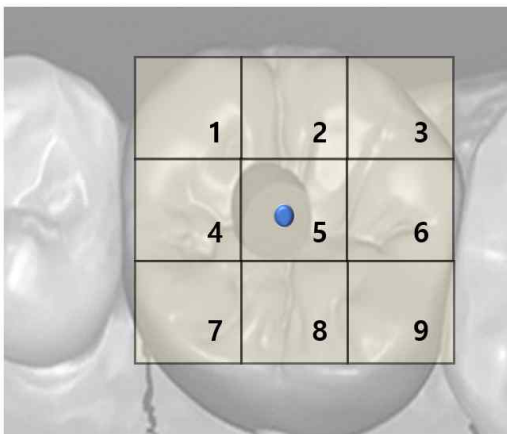


Fig. 5. Numbering to measure the dispersion of implant screw hole positions in group A and group B with significant differences in the number of samples.

2. 연구 방법 및 통계

본 연구에서 각 집단에 대한 등분산성 검정을 위해 F-test를 시행하였으며, 등분산성을 가정한 집단 간의 비교를 위해 t-test를 시행하였다. 가이드를 사용하지 않은 group A와 가이드를 사용한 group B의 경우 표본 수의 현저한 차이로 T-test를 사용하지 않고 각 격자구획 별로 스크류 홀이 분포하는 빈도를 통한 분산을 측정하여 임플란트 식립의 정확성을 검증하였다. 본 연구의 통계분석을 위해 SPSS v.29.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였으며, 모든 통계적 유의수준은 95% 신뢰구간으로 설정하였다.

III. 연구결과

1) 치아의 종류에 따른 식립의 정확도

치아의 종류에 따른 구치부 임플란트의 교합면 상 스크류 홀의 위치는 대체로 구치부 임플란트 교합면의 중심인 zone A에 위치하는 경향을 보였다. 가이드를 사용하지 않은 group A의 총 392개의 표본 중 제 1소구치에서 스크류 홀이 zone A에 위치하는 경우는 총 57개의 표본 중 35회(61.4%), zone B와 zone C에 나타나는 경우는 모두 11회(19.3%)였다. 제 2소구치의 경우는 zone A에 스크류 홀이 위치하는 경우는 총 66개의 표본 중 42회(63.6%)였고, zone B와 zone C에 나타나는 경우는 각각 14회(21.2%)와 10회(15.2%)였다. 제 1대구치의 경우 총 152개의 표본 중 zone A에서 89회(58.6%), zone B에서 35회(23%), zone C에서 28회(18.4%)였다. 그리고, 제 2대구치에서도 총 117개의 표본 중 zone A에 위치하는 경우가 64회(54.7%)로 가장 빈번했으며, zone B와 zone C에 위치하는 경우는 각각 32회(27.4%)와 21회(17.9%)였다(Fig. 6, Table 5).

총 392개의 실험군 중에서는 zone A에 스크류 홀이 위치하는 경우가 230회(58.7%) 가장 많았으며, zone B에서 92회(23.5%), zone C에서 70회(17.8%) 나타났다(Fig. 7). 이를 면적 대비 비율로 환산하면 zone A : zone B : zone C \approx 16.5 : 2.2 : 1.0 이었다(Fig. 8).

치아 별로는 소구치에서부터 대구치로 갈수록 zone A의 비율이 대체적으로 낮아지는 경향을 보였다. Zone A의 비율은 제 2소구치의 정확도가 가장 높았고(63.6%), 제 1소구치(61.4%)-제 1대구치(58.6%)-제 2대구치(54.7%)의 순으로 낮아졌다(Fig. 9)

Table 5. Number and ratio of screw holes located in each zone according to the tooth type in group A

	1 st premolar	2 nd premolar	1 st molar	2 nd molar	Total
Zone A	35	42	89	64	230
Zone B	11	14	35	32	92
Zone C	11	10	28	21	70
Total	57	66	152	117	392
Ratio of zone A	0.614	0.636	0.586	0.547	0.587
Ratio of zone B	0.193	0.212	0.230	0.274	0.235
Ratio of zone C	0.193	0.152	0.184	0.179	0.178

(unit: number)

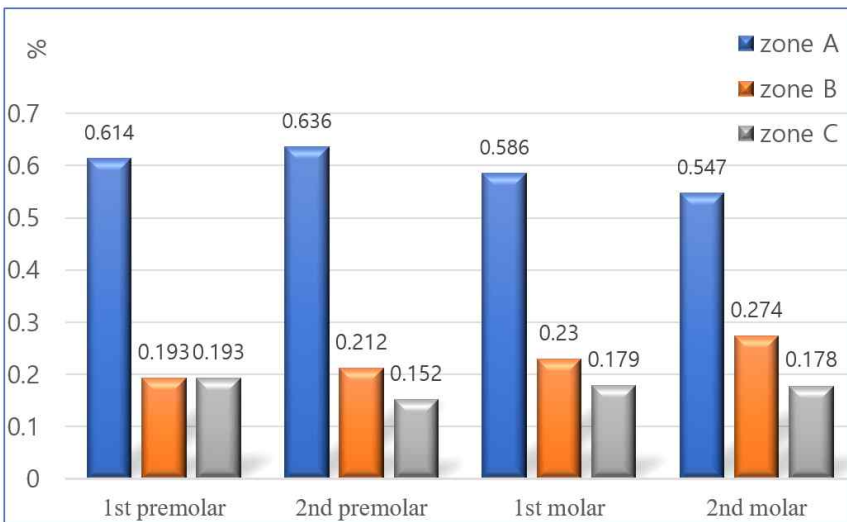


Fig. 6. Ratio of screw hole located according to tooth type in group A.

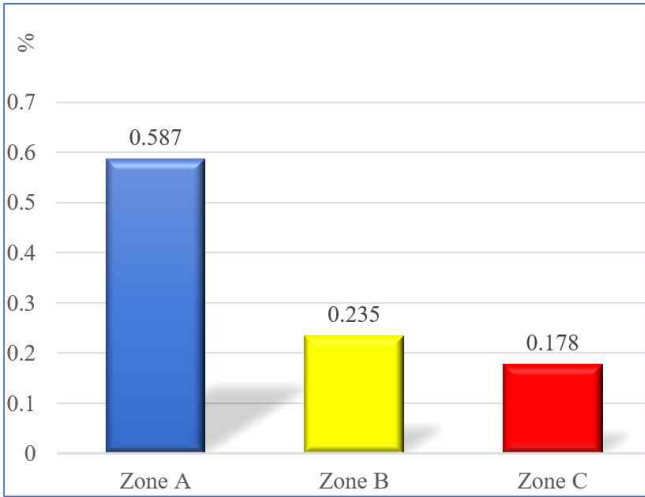


Fig. 7. Combined ratio of screw hole location in group A.

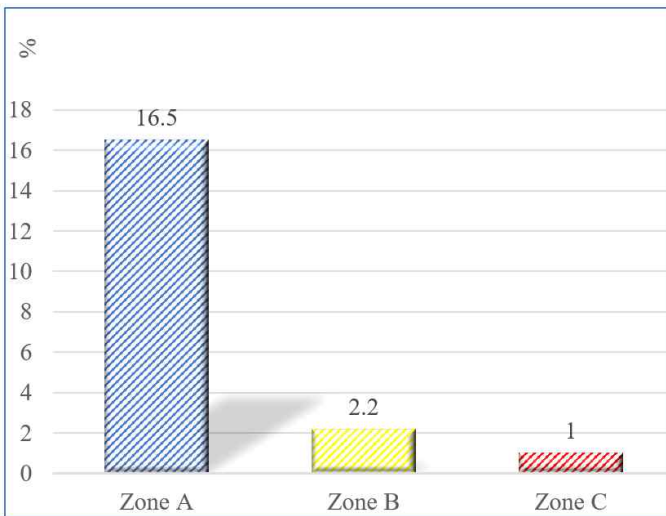


Fig. 8. The ratio of the location distribution of the screw hole converted into an area based on zone C as degree 1.0 in group A.

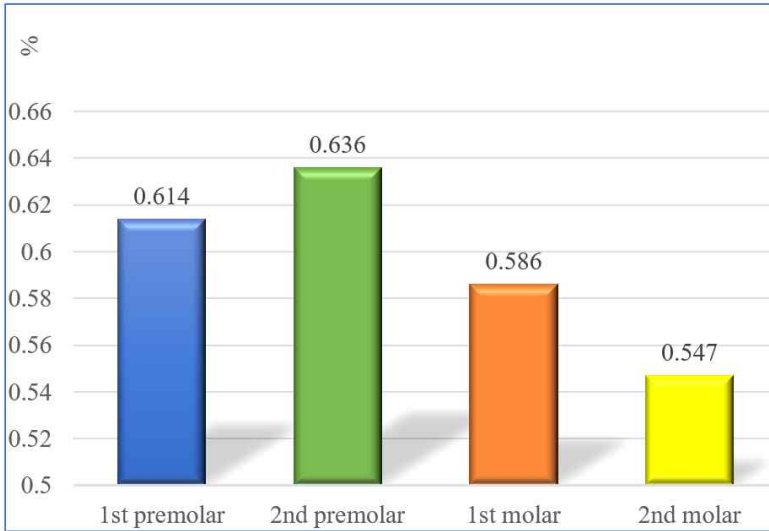


Fig. 9. Ratio of screw hole located in zone A according to tooth type in group A.

(2) 악궁에 따른 임플란트 식립의 정확도

상악에서의 치아 표본은 총 206개였으며, 그 중 109회(52.9%)가 zone A, 61회(29.6%)가 zone B, 36회(17.5%)가 zone C에 스크류 홀이 위치하였다. 하악의 경우 상악보다 표본 개수가 더 적음에도 불구하고 중심부인 zone A의 빈도수가 높은 것으로 보아 하악이 상악보다 정확성이 높다는 것을 알 수 있다($p < .05$).

Zone A가 나타나는 비율 또한 하악이 65.1%, 상악이 52.9%로 상악보다 하악에서 20% 가량 높다는 것을 파악할 수 있다(Fig. 10, Table 6)

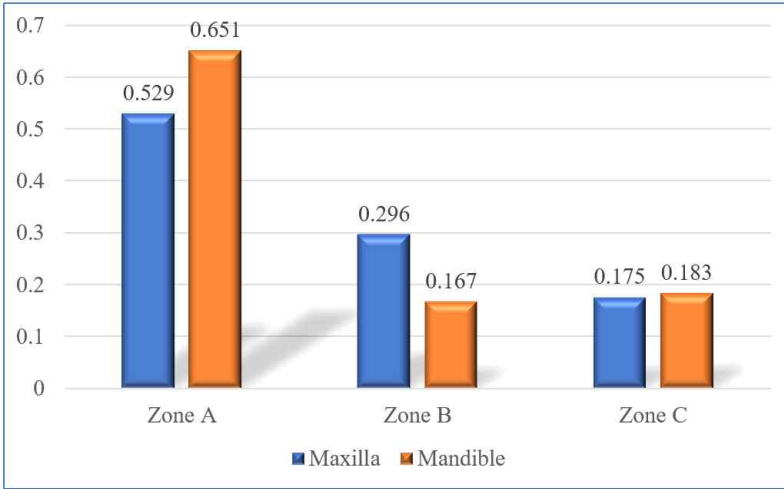


Fig. 10. Ratio of screw hole located in each zone according to the position of arch in group A.

Table 6. Number and ratio of screw holes located in each zone according to the position of arch in group A

	Maxilla	Mandible
Zone A	109	121
Zone B	61	31
Zone C	36	34
Total	206	186
Ratio of zone A	0.529	0.651
Ratio of zone B	0.296	0.167
Ratio of zone C	0.175	0.183

(unit: number)

(3) 좌우 악궁에 따른 임플란트 식립의 정확도

좌우 악궁 별 비교에서 스크류 홀이 교합면의 중심인 'zone A'에 위치하는 비율이 좌측 63.8%, 우측 53%로 좌측 악궁에서 보다 정확한 식립이 이뤄졌고 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 좌측 악궁에서는 총 207개의 치아 중 스크류 홀이 zone A에 위치하는 경우는 132회(63.8%), zone B는 40회(19.3%), zone C는 35회(16.9%)였다. 우측 악궁의 경우 총 185개의 치아 중 zone A에 위치하는 경우는 98회(53%), zone B는 52회(28.1%), zone C는 35회(18.9%)였다(Fig. 11, Table 7).



Fig. 11. Ratio of screw hole located in each zone according to the position at each arch(left and right) in group A.

Table 7. Number and ratio of screw holes located in each zone according to the position at each arch(left and right) in group A

	Left	Right
Zone A	132	98
Zone B	40	52
Zone C	35	35
Total	207	185
Ratio of zone A	0.638	0.530
Ratio of zone B	0.193	0.281
Ratio of zone C	0.169	0.189

(unit: number)

(4) 가이드 사용에 따른 식립의 정확도

스크류 홀이 교합면의 중심인 zone A에 위치하는 비율은 가이드를 사용한 경우 (group B)에 약 65%, 가이드를 사용하지 않은 경우(group A)는 약 58%로 가이드를 사용하는 경우에 보다 교합면의 중심에 스크류 홀이 위치하는 경향을 보였다(Fig. 12, Table 8).

표본 수의 현저한 차이가 나는 group A(n=413)와 group B(n=44) 간의 임플란트 식립의 정확도를 측정하기 위해 각 격자에 1에서 9까지 번호를 부여하여 분산을 측정하였고(Fig. 5), 각 그룹의 스크류 홀이 위치하는 격자 번호의 평균을 계산하였다. Group A의 평균은 5.32였으며, group B의 평균은 5.31이었다. 분산의 경우 group

A에서 2.750이었으며, group B에서는 0.690으로 가이드를 사용한 경우에 분산이 현저하게 낮게 나왔다(Table 9).

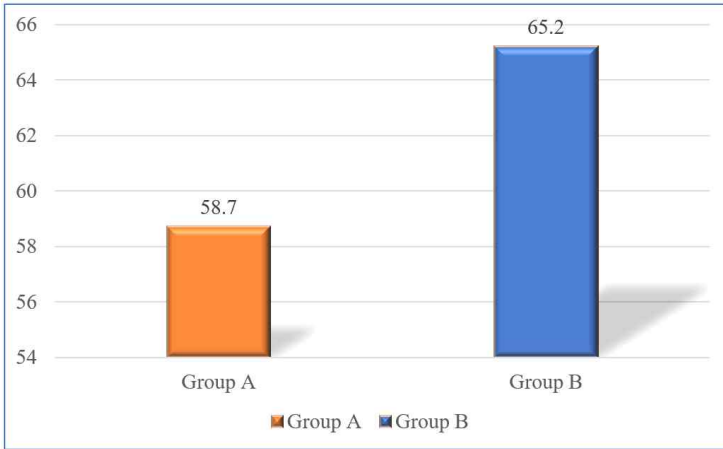


Fig. 12. Ratio of screw hole located in zone A in each group. Group A: non-guided surgery group, Group B: guided surgery group.

Table 8. Number and ratio of screw holes located in each zone according to whether the guide is used or not. Group A: non-guided surgery group, Group B: guided surgery group

	Group A	Group B
Zone A	230	30
Zone B	92	10
Zone C	70	6
Total	392	46
Ratio of zone A	0.587	0.652
Ratio of zone B	0.235	0.217
Ratio of zone C	0.176	0.130

(unit: number)

Table 9. Mean and dispersion of the numbers assigned to each grid in group A and group B. Note that the center of the occlusal plane is number 5

Grid \ Group	Group A	Group B
1	7	1
2	27	0
3	2	0
4	28	5
5	236	29
6	26	2
7	20	2
8	58	3
9	9	2
Mean	5.327	5.318
Dispersion	2.750	0.690

(unit: number)

IV. 총괄 및 고찰

현대 노령인구의 증가에 따른 고령화 문제는 정치, 경제, 사회적으로 큰 이슈가 되고 있지만 무엇보다도 고령의 인구가 질병에 의해 고통받지 않고, 거동의 제한이 없는 건강한 삶을 영위하도록 하는 것이 중요하다^{40,41}. 이러한 고령화의 문제는 치과 진료 영역에서도 반드시 고려되어야 하는데, 연령이 증가함에 따라 치아상 실의 개수도 증가하게 되어 보철 치료에 의한 수복의 필요성이 증가하게 된다^{42,43}. 현대 치의학의 기술과 재료의 발전에 힘입어 다양한 방식으로 상실된 치아를 보철적으로 수복하여 환자의 상실된 기능과 심미성을 회복시켜주는 것 뿐만 아니라 환자에게 편안한 치과치료 서비스를 제공하는 것은 현대 치의학의 당연한 목표로 받아들여지고 있다. 그런 면에서 상실된 치아의 회복에 임플란트를 이용하는 것은 매우 효과적인 치료로 받아들여지고 있다⁴⁴. 1980년대 초반부터 본격적으로 사용되기 시작한 임플란트의 장기간에 걸친 예후 관찰 결과 대부분 임상적으로 만족할 만한 성과를 보이기는 하지만 일부의 경우는 다양한 합병증을 보이고 있으므로 임플란트의 장기적인 유지관리에 대한 중요성도 함께 강조되고 있다^{45,46}.

(1) 과하중(overload)이 임플란트에 미치는 영향

Liaw⁴⁷ 등은 치과용 임플란트의 합병증을 유발하는 요소를 잘못된 위치가 경사로 식립된 임플란트, 구치부 지지의 상실, 불량한 임플란트 주위골 그리고 비기능적 습관 등에 의한 생체기계적인 과하중(biomechanical overload)과 세균에 의한 감염 등에 의한다고 보고한 바 있다. 이 중 잘못된 위치나 경사로 식립된 임플란트에 의한 과하중은 임플란트 고정체와 지대주 간의 미세동요나 과하중에 의한 임플란트 주변골의 흡수를 야기하여 결과적으로 임플란트의 실패를 야기하게 된다⁴⁸⁻⁵⁰. 게다가 임플란트 보철에 가해지는 교합력의 크기, 방향, 작용축이 잘못된 경우 임플란트 보철

나사의 잦은 풀림이나 파절, 의도치 않은 시멘트 유지형 보철물의 탈락 등의 보철적 합병증도 야기되게 된다^{51,52}.

(2) 자연치아에 비해 임플란트가 가지는 한계점

임플란트는 과도하거나 잘못된 하중에 대한 반응 및 적응이 자연치아에 비해 취약할 수 밖에 없는데 이는 자연치아에 비교하여 가지는 태생적 한계에 기인한다. 자연치아는 치주인대를 가지기 때문에 치아에 가해지는 충격이 치아 주변으로 분산되며, 이러한 충격 흡수기전이 측방력이 가해져도 안정적으로 주위 조직으로 이를 분산시킨다. 그에 반해 임플란트는 치주인대가 결여된 직접적인 골-임플란트 결합을 이루기 때문에 임플란트와 그 주변조직에 더 큰 충격력이 가해지고, 응력이 주로 치조골정에 집중되게 될 뿐 아니라 측방력에 대한 힘의 분산이 작용하지 않는다. 그 외에도 임플란트는 감각신경이 부재하여 해로운 교합력에 대한 유해수용성 반사가 일어나지 않으며, 교합면의 재료가 금속 또는 도재로 이뤄진다는 한계뿐 아니라 자연치아와는 다르게 임플란트와 해면골이 결합하여 골유착을 이룬다는 한계도 있다^{22,53}.

자연치아에 측방력을 가하면 그 측방력에 대해서 즉각 56~108 μ m 정도 움직이며, 이 때의 회전중심은 단근치의 경우 치근단 2/3 지점이며 다근치의 경우 치근이개부가 된다. 이에 반해 임플란트는 똑같은 측방력이 가해지더라도 그 측방력에 대해 즉각적인 운동이 일어나지 않는 대신 10~50 μ m 정도의 지연된 움직임이 있게 되는데 이것은 주로 주변골의 점탄성 골이동에 기인하며 이때의 응력은 주로 치조정에 집중된다^{22,54,55}. 이렇게 임플란트에 가해지는 응력은 잘 분산되지 못하므로 치조정에 집중된 응력에 의한 변연골의 파절 및 흡수가 일어나 임플란트의 동요가 증가된다. 또한 임플란트 고정체나 보철물의 파절, 보철 나사의 파절이나 나사 풀림으로 임플란트에 가해진 응력이 완화되기도 한다. 따라서 응력에 의한 임플란트의 합병증을 최소화하기 위해서는 임플란트에 가해지는 응력 자체를 감소시키는 방법이 요구된다²².

(3) 임플란트의 보호를 위한 교합

자연치아의 경우와 마찬가지로 임플란트의 경우, 임플란트 고정체를 따라 장축 방향으로 힘이 가해지도록 설계되었으며, 임플란트 하중 시 응력분포에 관한 많은 연구가 있었는데 임플란트 고정체의 장축 방향으로 하중이 가해진 경우 응력이 압축응력 형태로 나타났던 반면 수평력이 가해진 경우 인장력이나 전단력의 형태로 응력분포가 나타났다⁵⁶⁻⁵⁹. 따라서 임플란트에 유해한 응력의 발생을 방지하기 위해서는 수평 방향의 벡터 성분을 갖는 기여 요소에 대한 제거가 필요하다. 예를 들어 교두 경사면에 접촉되는 사면간섭의 제거⁶⁰, 편심위 운동 시 전치유도에 의한 구치이개 부여(상호 보호교합), 보철물 교두 경사도 조정, 보철물 교합면 면적감소 등이 있으며, 무엇보다도 폐구 시 교합접촉점에 의해 캔틸레버가 발생하지 않도록 임플란트 고정체 외경보다 외측에서 교합되는 점이 없도록 해야 한다.

(4) 치아의 종류에 따른 임플란트 식립의 정확성(전방에서 후방)

본 연구에서는 구치부 임플란트 교합면 상에 존재하는 스크류 홀의 위치를 파악하여 식립의 정확성을 간접적으로 확인하고자 하였다. 본 연구의 결과에서 가이드를 사용하지 않고 임플란트를 식립한 표본에서 치아 종류에 따른 임플란트 식립의 정확도를 파악한 결과 소구치에서 대구치로 갈수록 전반적인 식립의 정확도가 낮아짐을 확인하였다. 이는 후방으로 갈수록 골량이 부족하고, 시야 및 기구 접근성이 떨어지고, 환자의 개구량이 부족하고, Spee 만곡과 Wilson 만곡 등 만곡이 부여된 정상 해부학적 특성에 기인한 것으로 여겨진다. 또한 본 연구의 결과는 구치부 임플란트 식립의 성공률이 후방의 구치로 갈수록 낮아진다는 Jung 등³⁸의 연구와 근관치료 후 근관치료의 성공률이 후방의 구치로 갈수록 낮아진다는 Kim 등⁶²의 연구와 일치하는 결과를 얻었다. 치아의 위치에 따른 근관치료의 성공률이 후방으로 갈수록 감소한다는 결과에 대한 분석은 후방의 구치가 가지는 해부학적인 한계와 더불어 시야 확보 및 기구 접근성의 제한이었으며, 이는 임플란트 수술에도 ‘시야 확보 및 기구 접근성’의

제한점이 동일하게 적용될 수 있다고 평가된다. 실제 Kim 등⁶⁴은 half-guided implant surgery와 full-guided implant surgery에서의 임플란트 식립의 정확성을 조사한 연구에서 상·하악 모두 후방의 치아에서 임플란트 식립의 정확도가 감소하는 것으로 보고하였다. 그러나 근심에서 원심으로 갈수록 임플란트를 비롯한 여타의 치과 치료의 정확도 변화에 관한 논문은 거의 없는 실정으로 이에 대한 추가연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구의 결과에서 제 2소구치의 식립 정확도가 제 1소구치의 식립의 정확도보다 낮은 것으로 나타났다. 이는 하악의 임플란트 식립 시 하악 제1 소구치와 제 2소구치의 근단부 근처에 존재하는 이공(mental foramen)과 신경의 만곡에 대한 술자의 조심스러운 접근이 원인인 것으로 추정된다⁶³. 또한 하악 제 1소구치의 경우 교합면의 독특한 형태적 특성으로 인해 발생한 계측의 오차도 있었을 것으로 평가되므로 이에 대한 추가연구가 필요할 것으로 보인다.

가이드를 사용하지 않은 group A에서 구치부 임플란트 교합면의 중심에 해당하는 zone A, B, C의 비율이 0.587 : 0.235 : 0.178 \approx 3.3 : 1.3 : 1 로 나타났다. 이를 다시 zone C를 기준으로 하고 면적 대비 비율로 환산하여 나타내면 0.587/1 : 0.235/3 : 0.178/5 \approx 16.5 : 2.2 : 1의 비율로 더욱 차이가 강조된다. 이는 가이드를 사용하지 않은 free-hand surgery에서 높은 정확도를 보인 것으로 해석될 수도 있는데, 본 연구에서 임플란트 수술을 담당한 치과의사가 모두 치과대학병원의 교수진으로 매우 높은 전문성을 띠고 있는 집단이라는 특수성에서 본 연구의 한계라고 보며, 실제 다양한 경험을 가진 치과의사를 대상으로 한 연구가 추가연구가 필요할 것이다.

(5) 악궁에 따른 임플란트 식립의 정확도(상악과 하악)

악궁에 따른 임플란트 식립의 정확도가 상악 임플란트 식립이 하악 임플란트 식립보다 낮게 나타났다. 상악의 임플란트 식립을 위해서는 시야 및 기구의 접근을 위해

서 치과용 진료대를 앙아위(supine position)으로 조절하여 술자 및 보조자가 상체를 뒤튼 상태에서 진료를 진행하여야 한다. 일반적으로 상악에 대한 치아의 삭제나 근관, 수복 치료를 하는 등의 작은 부위의 시술 시 거울을 이용한 간접시야를 이용하는 경우가 많다. 보존, 수복 치료 및 치과대학 학생들의 치아삭제 실습 시 간접시야를 활용한 진료와 직접시야를 이용하는 진료 간에 별다른 차이점이 없다는 연구도 있다^{65,66}. 그러나 본 연구에서는 이 연구들과는 일치하지 않는 결과를 얻었다. 본 연구에서와 같은 임플란트 수술 상황에서 간접시야를 활용할 수 없게 되면 술자는 시야 확보를 위해 자세를 불안정한 상태로 변형시키게 되어 이것이 임플란트 수술의 변수로 작용할 가능성이 있다. 특히, 상악 제 2대구치의 경우 다른 치아와 달리 원심경사를 보이는 치아로 치아삭제나 근관치료 시 많은 어려움이 있는 치아이며, 임플란트 식립 시에도 높은 난이도를 보이는 치아이다⁶². 따라서 이처럼 시야 및 기구접근이 어려운 경우일수록 가이드의 사용을 통해 임플란트 식립의 정확도를 높일 필요성이 있다.

(7) 좌우 악궁에 따른 임플란트 식립의 정확도

좌우 악궁 별 비교에서 스크류 홀이 교합면의 중심인 'zone A'에 위치하는 비율이 좌측 악궁에서 보다 높게 나타났다. 이는 좌측이 술자와 가까운 수술 부위로 시야 확보 및 기구 접근이 양호했기 때문으로 평가되었다. 또한 우측의 경우 보조자의 석션이나 견인에 의한 시야 확보나 기구 접근의 제한이 있었을 것으로 추정된다.

술자의 자세에 의해 임플란트 식립의 정확도가 변화될 수 있다는 연구는 거의 찾아볼 수 없으나 치과의사의 올바른 진료 자세에 관한 몇몇 연구가 이뤄졌다. 치과의사는 직업적인 특성상 만성적인 근골격계 질환에 시달리게 된다⁶⁷. 양질의 치과 진료 서비스를 제공함에 있어서 우선 술자의 건강이 중요하며, 진료 중의 술자의 올바른 자세는 모든 근육들이 긴장되지 않고, 균형을 잘 이루고 있고, 중립적인 위치(neutral position)에 있어야 한다⁶⁷. 많은 연구에서 이런 중립적이고 안정적인 자세의 유지를 위해 루페의 사용을 권장하기도 한다^{68,69}.

비록 이전의 선행연구는 없으나, 본 연구에 사용된 표본은 모두 오른 손을 사용하는 술자에 의해 이루어졌는데, 수술 부위의 좌우 위치가 임플란트 교합면에 존재하는 스크류 홀의 위치에 통계적으로 유의미한 차이를 보인 것은 주목해야 할 것이며, 앞으로 관련 연구가 후속되어야 할 것으로 생각된다.

(8) 가이드 사용에 따른 식립의 정확도

산업 전반의 4차 산업혁명의 시작되었고, 치과계는 어떤 영역보다 빠르게 4차 산업혁명의 영향을 받아 매우 빠른 속도로 발전과 성장을 하고 있다⁷⁰. 치의학 전반에서 진행되고 있는 디지털 치의학으로의 패러다임 전환의 영향으로 이전의 시대와는 비교할 수 없는 치료의 고도화가 진행되고 있다. 치료의 정밀성, 간편성, 반복 재현성, 시간과 공간의 제약 사라짐 등은 대표적인 치과 디지털 혁신의 혜택이다. 여러 치과진료 영역 중에서도 임플란트 치료영역은 이러한 디지털 치료술식이 가장 적극적으로 적용되고 있는 분야이다⁷¹⁻⁷³. 예를 들어 임플란트 진단을 위한 CBCT(cone-beam computed tomography)와 구강스캐너의 사용, 밀링머신이나 적층가공을 활용한 디지털 기공 그리고 교합조정을 위한 디지털교합분석 장비 등 거의 전체의 임플란트 진료과정이 디지털화 되어 있는 추세이다. 그 중에서도 가이드의 사용을 통한 임플란트 식립의 정확도와 안정성이 비약적으로 향상되었고, 치과 임플란트 치료의 필수요소로 여겨지게 되었다⁷⁴.

본 연구에서는 가이드를 사용하지 않은 group A(n=413)과 가이드를 사용한 그룹 B(n=44) 간에 표본 수의 차이가 현저하여 t-test를 진행하지 않고, 각 구획의 번호를 부여하여 그 분산을 측정하였다. 그 결과 group A에서는 2.750, group B에서는 0.690로 가이드를 사용한 경우에 현저히 낮은 분산을 보여 스크류 홀이 가이드를 사용한 경우 임플란트 교합면 중앙(격자번호 5)에 현저히 가깝게 위치한 것을 알 수 있다. 즉, 가이드를 사용하여 임플란트 수술을 한 경우 교합력이 임플란트 고정체의 장축에 보다 평행하게 적용될 수 있다는 결과로 해석되었다. 본 연구의 결과와 같이 가이드 사용의 필요성에

대해서는 학계에서 전반적으로 지지되는 경향이며, 관련된 많은 연구도 진행되었다⁷⁵⁻⁷⁸.

그러나 가이드 사용에 대해 회의적이거나 별다른 효용이 없다는 의견도 역시 있다. Pozzi⁷⁹ 등은 즉시 부하 임플란트에서 가이드 사용 여부에 따른 임플란트 성공률을 조사하였는데 적절한 치료계획이 세워진다면 가이드를 사용하는 경우와 사용하지 않은 경우의 임플란트 성공률의 별다른 차이가 없다고 하였다. Tallarico 등⁸⁰은 가이드를 사용하지 않은 경우는 그렇지 않은 경우에 비해 임플란트 성공률에 차이는 없고 술후 통증과 부종이 더 많이 발생했다고 했다. Afrashtehfar 등⁸¹은 가이드를 사용하지 않는 임플란트 수술(CFHS, conventional free-hand surgery), 정적 가이드 임플란트 수술(sCAIS, static computer-assisted implant surgery), 심지어 동적 가이드 임플란트 수술(dCAIS, dynamic computer-assisted surgery)까지 모두 별다른 차이가 없다고 주장한 바 있다. 오히려 Yogui 등⁸²은 치은에 대한 판막거상 및 수술 부위의 골을 직접적으로 관찰하면서 수술이 가능하고, 골이식과 같은 부가적인 처치가 보다 쉽게 행해진다는 점에서 가이드를 사용하지 않는 CFHS를 지지하기도 했다.

최근에는 정적 가이드 임플란트 수술이 아닌 동적 가이드 임플란트 수술(dCAIS)가 소개되고 있다. 이 dCAIS 방식의 임플란트 수술과정은 마커를 장착하고 CBCT 촬영하여 가상 모델 상에서 임플란트 식립 계획을 수립한 후, 가상의 모형과 실제 환자의 오차를 수정하는 캘리브레이션(calibration) 과정을 통해 준비를 완료하고, 수술실에서 모니터 상의 3차원 이미지의 실시간 확인을 통해 임플란트 식립을 진행하는 방식이다^{83,84}. 또한 이러한 동적인 수술 방식은 근관치료 등의 타 치과진료에도 활용되고, 대형병원이 아닌 개인치과에서도 활용되어 만족스러운 결과를 보이는 등 그 활용성이 더욱 높아지고 있는 추세이다⁸⁵⁻⁸⁹, 또한 진료실의 2차원 모니터의 2차원 또는 3차원 이미지를 관찰하면서 수술을 진행하는 기존의 dCAIS 방식보다 더욱 진보된 기술인 증강현실기술(AR, augmented reality)을 이용하여 임플란트 식립의 정확도를 실시간으로 확인하여 성공적인 수술을 진행했다는 연구들이 보고되고 있다⁹⁰⁻⁹².

V. 결 론

본 연구에서는 임플란트 고정체의 장축을 따라 응력이 가해져야 한다는 생역학적인 기본원리가 실제 임플란트 임상에 적절하게 적용되고 있는지 검증하고자 하였다. 이에 임플란트 식립의 정확도를 디지털 가공과정에서 형성된 STL 파일의 이미지를 이용하여 교합면의 중심에 임플란트 장축이 위치하는지 스크류 홀의 위치를 통해 간접적으로 확인하였다. 가이드를 사용하지 않은 군과 가이드를 사용한 군의 관찰을 통해 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 소구치에서 대구치로 갈수록 임플란트 식립의 정확도는 낮았다.
2. 하악에 비해 상악의 임플란트 식립의 정확도가 낮았다.
3. 좌측에 비해 우측의 임플란트 식립의 정확도가 낮았다.
4. 가이드를 사용하지 않은 경우 가이드를 사용한 경우보다 임플란트 식립의 정확도가 낮았다.

References

1. Yang J, Li H, Xu L, Wang Y. Selective laser sintering versus conventional lost-wax casting for single metal copings: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2022 Nov;128(5):897-904.
2. Zack Kasloff. Casting techniques and some variables, *J Prosthet Dent.* 1961;11(3):533-536.
3. Herschfeld JJ, Robert J, Nelsen and the development of the high speed handpiece. *Bull Hist Dent.* 1987 Apr;35(1):37-42.
4. Eshleman JR, Sarrett DC. How the development of the high-speed turbine handpiece changed the practice of dentistry. *J Am Dent Assoc.* 2013 May;144(5):474-477.
5. Lemos CAA, Verri FR, Gomes JML, Santiago Júnior JF, Moraes SLD, Pellizzer EP. Bilateral balanced occlusion compared to other occlusal schemes in complete dentures: A systematic review. *J Oral Rehabil.* 2018;45(4):344-354.
6. Ilie N, Hilton TJ, Heintze SD, Hickel R, Watts DC, Silikas N, Stansbury JW, Cadenaro M, Ferracane JL. Academy of Dental Materials guidance-Resin composites: Part I-Mechanical properties. *Dent Mater.* 2017 Aug;33(8):880-894.
7. Ferracane JL, Hilton TJ, Stansbury JW, Watts DC, Silikas N, Ilie N, Heintze S, Cadenaro M, Hickel R. Academy of Dental Materials guidance-Resin composites: Part II-Technique sensitivity (handling, polymerization, dimensional changes). *Dent Mater.* 2017

- Nov;33(11):1171-1191.
8. 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 Feb;73(1):7-21.
 9. Jorba-García A, González-Barnadas A, Camps-Font O, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. Accuracy assessment of dynamic computer-aided implant placement: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*. 2021 May;25(5):2479-2494.
 10. Venezia P, Torsello F, Santomauro V, Dibello V, Cavalcanti R. Full Digital Workflow for the Treatment of an Edentulous Patient with Guided Surgery, Immediate Loading and 3D-Printed Hybrid Prosthesis: The BARI Technique 2.0. A Case Report. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(24):5160.
 11. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1986;1(1):11-25.
 12. Block MS. Dental Implants: The Last 100 Years. *J Oral Maxillofac Surg*. 2018 Jan;76(1):11-26.
 13. Elani HW, Starr JR, Da Silva JD, Gallucci GO. Trends in Dental Implant Use in the U.S., 1999-2016, and Projections to 2026. *J Dent Res*. 2018 Dec;97(13):1424-1430.
 14. Isidor F. Histological evaluation of peri-implant bone at implants subjected to occlusal overload or plaque accumulation. *Clin Oral Implants Res*. 1997;8(1):1-9.
 15. Naert I, Quirynen M, van Steenberghe D, Darius P. A six-year

- prosthodontic study of 509 consecutively inserted implants for the treatment of partial edentulism. *J Prosthet Dent.* 1992;67(2):236-245.
16. La Monaca G, Pranno N, Annibali S, Massimo C, Polimeni A, Patini R, Paola Cristalli M. Survival and complication rates of tooth-implant versus freestanding implant supporting fixed partial prosthesis: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont Res.* 2021 Feb 24;65(1):1-10.
 17. Rangert B, Krogh PH, Langer B, Van Roekel N. Bending overload and implant fracture: a retrospective clinical analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1995;10(3):326-334.
 18. Duyck J, Van Oosterwyck H, Vander Sloten J, De Cooman M, Puers R, Naert I. Magnitude and distribution of occlusal forces on oral implants supporting fixed prostheses: an in vivo study. *Clin Oral Implants Res.* 2000;11(5):465-475.
 19. Giargia M, Lindhe J. Tooth mobility and periodontal disease. *J Clin Periodontol.* 1997;24(11):785-795.
 20. Persson R, Svensson A. Assessment of tooth mobility using small loads. I. Technical devices and calculations of tooth mobility in periodontal health and disease. *J Clin Periodontol.* 1980;7(4):259-275.
 21. Hillam DG. Stresses in the periodontal ligament. *J Periodontal Res.* 1973;8(1):51-56.
 22. Misch CE. *Dental implant prosthetics-E-book.* Elsevier Health Sciences, 2004.
 23. Misch CE, Perel ML, Wang HL, Sammartino G, Galindo-Moreno P, Trisi P, Steigmann M, Rebaudi A, Palti A, Pikos MA, Schwartz-Arad D,

- Choukroun J, Gutierrez-Perez JL, Marenzi G, Valavanis DK. Implant success, survival, and failure: the International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference. *Implant Dent.* 2008 Mar;17(1):5-15.
24. Jemt T, Book K. Prosthesis misfit and marginal bone loss in edentulous implant patients. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1996;11(5):620-625.
 25. McGlumphy EA. Keeping implant screws tight: the solution. *J Dent Symp.* 1993;1:20-23
 26. Kallus T, Bessing C. Loose gold screws frequently occur in full-arch fixed prostheses supported by osseointegrated implants after 5 years. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1994;9(2):169-178.
 27. Sones AD. Complications with osseointegrated implants. *J Prosthet Dent.* 1989;62(5):581-585.
 28. Carlson B, Carlsson GE. Prosthodontic complications in osseointegrated dental implant treatment. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1994;9(1):90-94.
 29. Saadoun AP, LeGall M, Touati B. Selection and ideal tridimensional implant position for soft tissue aesthetics. *Pract Periodontics Aesthet Dent.* 1999;11(9):1063-1074.
 30. Hartman GA, Cochran DL. Initial implant position determines the magnitude of crestal bone remodeling. *J Periodontol.* 2004;75(4):572-577.
 31. Hong HR, Pae A, Kim Y, Paek J, Kim HS, Kwon KR. Effect of implant position, angulation, and attachment height on peri-implant bone stress associated with mandibular two-implant overdentures: a finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2012;27(5):e69-e76.
 32. Kola MZ, Shah AH, Khalil HS, et al. Surgical templates for dental

- implant positioning; current knowledge and clinical perspectives. *Niger J Surg.* 2015;21(1):1-5.
33. Lazzara RJ. Effect of implant position on implant restoration design. *J Esthet Dent.* 1993;5(6):265-269.
 34. Van Assche N, Vercruyssen M, Coucke W, Teughels W, Jacobs R, Quirynen M. Accuracy of computer-aided implant placement. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23 Suppl 6:112-123.
 35. El Kholy K, Lazarin R, Janner SFM, Faerber K, Buser R, Buser D. Influence of surgical guide support and implant site location on accuracy of static Computer-Assisted Implant Surgery. *Clin Oral Implants Res.* 2019;30(11):1067-1075.
 36. Zhou W, Liu Z, Song L, Kuo CL, Shafer DM. Clinical Factors Affecting the Accuracy of Guided Implant Surgery-A Systematic Review and Meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract.* 2018;18(1):28-40.
 37. Yeung M, Abdulmajeed A, Carrico CK, Deeb GR, Bencharit S. Accuracy and precision of 3D-printed implant surgical guides with different implant systems: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2020;123(6):821-828.
 38. Jung TG, Paeng JY, Cho JH, Lee SH. The Study on Success Rate of Single Implant Replacing the Mandibular First and Second Molars. *J Korean Acad Prosthodont* 2013;51(4):252-260.
 39. Shoji Y, Home Position. Perception and Movements in Dentistry. M.D.P. Co., 1974.
 40. Cutler DM, Poterba JM, Sheiner LM, Summers LH. An aging society: opportunity or challenge?. *Brookings Pap Econ Act.* 1990;(1):1-73.

41. Harper S. Economic and social implications of aging societies. *Science*. 2014;346(6209):587-591.
42. Meskin LH, Brown LJ. Prevalence and patterns of tooth loss in U.S. employed adult and senior populations, 1985-86. *J Dent Educ*. 1988;52(12):686-691.
43. Marcus SE, Drury TF, Brown LJ, Zion GR. Tooth retention and tooth loss in the permanent dentition of adults: United States, 1988-1991. *J Dent Res*. 1996;75 Spec No:684-695.
44. Zohrabian VM, Sonick M, Hwang D, Abrahams JJ. Dental Implants. *Semin Ultrasound CT MR*. 2015;36(5):415-426.
45. McDermott NE, Chuang SK, Woo VV, Dodson TB. Complications of dental implants: identification, frequency, and associated risk factors. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2003;18(6):848-855.
46. Geckili O, Bilhan H, Geckili E, Cilingir A, Mumcu E, Bural C. Evaluation of possible prognostic factors for the success, survival, and failure of dental implants. *Implant Dent*. 2014 Feb;23(1):44-50.
47. Liaw K, Delfini RH, Abrahams JJ. Dental Implant Complications. *Semin Ultrasound CT MR*. 2015;36(5):427-433.
48. Berberi A, Maroun D, Kanj W, Amine EZ, Philippe A. Micromovement Evaluation of Original and Compatible Abutments at the Implant-abutment Interface. *J Contemp Dent Pract*. 2016;17(11):907-913.
49. Watanabe F, Hata Y, Komatsu S, Ramos TC, Fukuda H. Finite element analysis of the influence of implant inclination, loading position, and load direction on stress distribution. *Odontology*. 2003 Sep;91(1):31-6.
50. Di Fiore A, Montagner M, Sivoletta S, Stellini E, Yilmaz B, Brunello G.

- Peri-Implant Bone Loss and Overload: A Systematic Review Focusing on Occlusal Analysis through Digital and Analogic Methods. *J Clin Med.* 2022;11(16):4812.
51. Huang Y, Wang J. Mechanism of and factors associated with the loosening of the implant abutment screw: A review. *J Esthet Restor Dent.* 2019;31(4):338-345.
 52. Kourtis S, Damanaki M, Kaitatzidou S, Kaitatzidou A, Roussou V. Loosening of the fixing screw in single implant crowns: predisposing factors, prevention and treatment options. *J Esthet Restor Dent.* 2017;29(4):233-246.
 53. Berglundh T, Lindhe J, Ericsson I, Marinello CP, Liljenberg B, Thomsen P. The soft tissue barrier at implants and teeth. *Clin Oral Implants Res.* 1991;2(2):81-90.
 54. Mühlemann HR. Tooth mobility: a review of clinical aspects and research findings. *J Periodontol.* 1967;38(6):686-713.
 55. Parfitt GJ. Measurement of the physiological mobility of individual teeth in an axial direction. *J Dent Res.* 1960;39:608-618
 56. Zhang C, Zeng C, Wang Z, Zeng T, Wang Y. Optimization of stress distribution of bone-implant interface (BII). *Biomater Adv.* 2023;147:213342.
 57. Cozzolino F, Apicella D, Wang G, Apicella A, Sorrentino R. Implant-to-bone force transmission: a pilot study for in vivo strain gauge measurement technique. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2019;90:173-181.
 58. Kang N, Wu YY, Gong P, Yue L, Ou GM. A study of force distribution

- of loading stresses on implant-bone interface on short implant length using 3-dimensional finite element analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2014;118(5):519-523.
59. Falcinelli C, Valente F, Vasta M, Traini T. Finite element analysis in implant dentistry: State of the art and future directions. *Dent Mater.* 2023;39(6):539-556.
 60. Weinberg LA. Reduction of implant loading using a modified centric occlusal anatomy. *Int J Prosthodont.* 1998;11(1):55-69.
 61. Goldstein GR. The relationship of canine-protected occlusion to a periodontal index. *J Prosthet Dent.* 1979;41(3):277-283.
 62. Kim SM, Shin H. Survival of Individual Teeth after Non-surgical Endodontic Treatment. *J Korean Acad Oral Health* 2017; 41(3):201-207.
 63. Aminoshariae A, Su A, Kulild JC. Determination of the location of the mental foramen: a critical review. *J Endod.* 2014;40(4):471-475.
 64. Kim C, Lee W, Kwon HB. An assessment of accuracy of half-guided implant surgery using implant surgical guide: A case report. *J Korean Acad Prosthodon* 2019;57(2):150-159.
 65. Lee SJ, Choi DG. The Influence of Home Position(H.P.) and Random Position(R.P.) on the Shape of Prepared Tooth Surfaces - Upper Left 1st Molar for Full Cast Crown. *J Dent Rehab App Sci* 2001; 17(4); 256-274.
 66. Boyd MA, Rucker LM. Effects of immediate introduction of indirect vision on performance and posture. *J Dent Educ.* 1987;51(2):98-101.
 67. Finsen L, Christensen H, Bakke M. Musculoskeletal disorders among dentists and variation in dental work. *Appl Ergon.* 1998;29(2):119-125.
 67. Branson BG, Williams KB, Bray KK, McIlroy SL, Dickey D. Validity and

- reliability of a dental operator posture assessment instrument (PAI). *J Dent Hyg.* 2002;76(4):255-261.
68. Wajngarten D, Garcia PPNS. Effect of magnification devices on dental students' visual acuity. *PLoS One.* 2019;14(3):e0212793.
69. Branson BG, Bray KK, Gadbury-Amyot C, et al. Effect of magnification lenses on student operator posture. *J Dent Educ.* 2004;68(3):384-389.
70. Watanabe H, Fellows C, An H. Digital Technologies for Restorative Dentistry. *Dent Clin North Am.* 2022;66(4):567-590.
71. Michelinakis G, Apostolakis D, Kamposiora P, Papavasiliou G, Özcan M. The direct digital workflow in fixed implant prosthodontics: a narrative review. *BMC Oral Health.* 2021;21(1):37.
72. Joda T, Zarone F, Ferrari M. The complete digital workflow in fixed prosthodontics: a systematic review. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):124.
73. Papaspyridakos P, Bedrossian A, De Souza A, Bokhary A, Gonzaga L, Chochlidakis K. Digital Workflow in Implant Treatment Planning For Terminal Dentition Patients. *J Prosthodont.* 2022;31(6):543-548.
74. Al Yafi F, Camenisch B, Al-Sabbagh M. Is Digital Guided Implant Surgery Accurate and Reliable?. *Dent Clin North Am.* 2019;63(3):381-397.
75. Nickenig HJ, Wichmann M, Hamel J, Schlegel KA, Eitner S. Evaluation of the difference in accuracy between implant placement by virtual planning data and surgical guide templates versus the conventional free-hand method - a combined in vivo - in vitro technique using cone-beam CT (Part II). *J Craniomaxillofac Surg.* 2010;38(7):488-493.
76. Sarkar A, Hoda MM, Malick R, Kumar A. Surgical Stent Guided Versus

- Conventional Method of Implant Placement. *J Maxillofac Oral Surg.* 2022;21(2):580-589.
77. Guentsch A, Sukhtankar L, An H, Luepke PG. Precision and trueness of implant placement with and without static surgical guides: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2021;126(3):398-404.
 78. Smitkarn P, Subbalekha K, Mattheos N, Pimkhaokham A. The accuracy of single-tooth implants placed using fully digital-guided surgery and freehand implant surgery. *J Clin Periodontol.* 2019;46(9):949-957.
 79. Pozzi A, Tallarico M, Marchetti M, Scarfò B, Esposito M. Computer-guided versus free-hand placement of immediately loaded dental implants: 1-year post-loading results of a multicentre randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol.* 2014;7(3):229-242.
 80. Tallarico M, Esposito M, Xhanari E, Caneva M, Meloni SM. Computer-guided vs freehand placement of immediately loaded dental implants: 5-year postloading results of a randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol.* 2018;11(2):203-213.
 81. Afrashtehfar KI. Conventional free-hand, dynamic navigation and static guided implant surgery produce similar short-term patient-reported outcome measures and experiences [published correction appears in *Evid Based Dent.* 2022 Mar;23(1):5]. *Evid Based Dent.* 2021;22(4):143-145.
 82. Yogui FC, Verri FR, de Luna Gomes JM, Lemos CAA, Cruz RS, Pellizzer EP. Comparison between computer-guided and freehand dental implant placement surgery: A systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2021;50(2):242-250.
 83. Panchal N, Mahmood L, Retana A, Emery R 3rd. Dynamic Navigation

- for Dental Implant Surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2019 Nov;31(4):539-547.
84. Pellegrino G, Taraschi V, Andrea Z, Ferri A, Marchetti C. Dynamic navigation: a prospective clinical trial to evaluate the accuracy of implant placement. *Int J Comput Dent.* 2019;22(2):139-147.
 85. aus-Matoses V, Faus-Llácer V, Moradian T, Riad Deglow E, Ruiz-Sánchez C, Hamoud-Kharrat N, Zubizarreta-Macho Á, Faus-Matoses I. Accuracy of Endodontic Access Cavities Performed Using an Augmented Reality Appliance: An In Vitro Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Sep 6;19(18):11167.
 86. Zubizarreta-Macho Á, Valle Castaño S, Montiel-Company JM, Mena-Álvarez J. Effect of Computer-Aided Navigation Techniques on the Accuracy of Endodontic Access Cavities: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biology (Basel).* 2021 Mar 10;10(3):212.
 87. Stefanelli LV, DeGroot BS, Lipton DI, Mandelaris GA. Accuracy of a Dynamic Dental Implant Navigation System in a Private Practice. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2019 January/February;34(1):205-213.
 88. Tawil I. How Dynamic Navigation Can Improve Accuracy and Minimize Errors. *Compend Contin Educ Dent.* 2021 Sep;42(8):430-435.
 89. Mandelaris GA, Stefanelli LV, DeGroot BS. Dynamic Navigation for Surgical Implant Placement: Overview of Technology, Key Concepts, and a Case Report. *Compend Contin Educ Dent.* 2018 Oct;39(9):614-621.
 90. Mai HN, Dam VV, Lee DH. Accuracy of Augmented Reality-Assisted Navigation in Dental Implant Surgery: Systematic Review and Meta-analysis. *J Med Internet Res.* 2023 Jan 4;25:e42040.

91. Kivovics M, Takács A, Péntzes D, Németh O, Mijiritsky E. Accuracy of dental implant placement using augmented reality-based navigation, static computer assisted implant surgery, and the free-hand method: An in vitro study. *J Dent.* 2022 Apr;119:104070.
92. Pellegrino G, Mangano C, Mangano R, Ferri A, Taraschi V, Marchetti C. Augmented reality for dental implantology: a pilot clinical report of two cases. *BMC Oral Health.* 2019 Jul 19;19(1):158.