



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 2월

박사학위논문

판막봉합과 차폐막 고정
이
비매립형 골유도재생술의 부피
안정성에 끼치는 영향

조선대학교 대학원

치의학과

윤호진

판막봉합과 차폐막 고정이
비매립형 골유도재생술의 부피
안정성에 끼치는 영향

The effects of suturing and membrane fixation on
the volume stability of non-submerged guided bone
regeneration : An *ex vivo* cone-beam radiographic
evaluation

2023년 2월 24일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

윤 호 진

관막봉합과 차폐막 고정
이 비매립형 골유도재생술의 부피
안정성에 끼치는 영향

지도교수 유 상 준

이 논문을 치의학 박사학위신청 논문으로 제출함

2022년 10월

조선대학교 대학원

치 의 학 과

윤 호 진

윤호진의 박사학위논문을 인준함

위원장 전남대학교 교수 김 옥 수 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 병 옥 (인)

위 원 조선대학교 교수 오 지 수 (인)

위 원 조선대학교 교수 유 상 준 (인)

위 원 조선대학교 교수 이 원 표 (인)

2023년 1월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

I. 서 론	1
II. 실험 재료 및 방법	3
1. 재료	3
2. Ex vivo 모델	3
3. 실험 설계	4
4. 실험 과정	6
5. 방사선학적 평가	6
6. 통계 분석	7
III. 연구 결과	9
IV. 고찰	14
V. 결론	18
참고문헌	19

도 목 차

Figure 1. Buccal and occlusal view of the experimental peri-implant bone defect	4
Figure 2. Surgical procedure	5
Figure 3 CBCT images of the experimental groups	7
Figure 4 Bar plots of the horizontal thicknesses of the augmented regions	13
Figure 5 Box plots of the changes of horizontal thicknesses of the augmented regions	13

표 목 차

Table 1. Results of ANOVA for horizontal thickness	9
Table 2. Results of horizontal thickness of the augmented region	11
Table 3. Results of change in horizontal thickness of the augmented region	12

ABSTRACT

The effects of suturing and membrane fixation on the volume stability of non-submerged guided bone regeneration : An *ex vivo* cone-beam radiographic evaluation

Yun Ho-Jin

Advisor: Prof. Yu Sang-Joun, D.D.S., M.S.D.

Department of Dentistry

Graduate School of Chosun University

I. Introduction

Guided bone regeneration (GBR) is to allow the placement of dental implants in prosthetically correct position and to resolve the peri-implant osseous defects. Application of particulate bone substitute (pBS) materials covered with an resorbable collagen membrane (CM) is the most favourable outcomes in terms of the alveolar bony defects. Stability of the pBS is one of the conditions for obtaining a successful GBR. For this stability, application of fixation pin (FP) and healing abutment (HA) for fixation of the CM could limit movement of the pBS, surrounding bone and soft tissue flap. The aim of the study was to investigate the change volume stability of the pBS through cone-beam computed tomography (CBCT) after wound closure following the non-submerged GBR.

II. Materials and Methods

Twenty peri-implant box shaped bony defects were created in 10 pig mandibles. The bone defects measured 8 mm mesio-distally, 3 mm bucco-lingually, 6 mm apico-coronally. An implant with a diameter of 4.0 mm and a height of 10.0 mm was placed according to the alveolar crest of each defect at an even position 1.0

mm from the buccal side. A hole with a diameter of 4 mm performed by membrane punch on the CM and a HA is attached to the hole. Each group was divided as follows: Control Group) pBS + CM, Experimental Group I) pBS + CM + HA, Experimental Group II) pBS + CM with apically positioned FP + HA.

The horizontal thickness(HT) of the augmented region was assessed at the implant shoulder(HT 0mm) and at 1~5mm apical to the implant shoulder (HT 1mm~HT 5mm). The changes of HT during wound closure were calculated as absolute(mm) and relative values(%).

III. Results

Wound closure induced a statistically significant change of HT0~HT2 in groups ($p \leq 0.05$). The change in HT0 measured $33.6 \pm 9.4\%$ for Control Group, $19.6 \pm 7.6\%$ for Group I, and $11.8 \pm 4.8 \%$ for Group II.

The reduction in HT0 ~ HT5 for Control Group was significantly higher as compared to Experimental Group I and Experimental Group II. From H0 to H4, the reduction amount of Experimental Group II was lower than that of Experimental Group I, and there were no statistically significant differences in the change of HT5 between Experimental Group I and Experimental Group II.

IV. Conclusion

GBR around non-submerged implant using the HA might be one of the methods for predictive ridge augmentation through the stabilization of the pBS. Also, using the healing abutment and fixation pin showed better results in terms of stability of the bone graft material.

I. 서 론

치아의 상실 후 치조골 흡수는 치주 조직의 전형적인 변화이다. 수평골 결손은 무치악부위에서 흔히 발생하며 치조골의 재건을 위해 골유도재생술(guided bone regeneration, GBR)이 필요하다[1, 2]. GBR은 국소적 치조골 결손부에서 치조골을 보강하는 데 사용되는 가장 보편적인 술식이다. 다수의 전임상 및 임상 연구에서 노출된 임플란트 표면에 GBR을 시행하였을 때 성공적인 골유착 및 치조골의 체적 유지가 일어났음을 보여주었다. 게다가, GBR과 함께 식립된 임플란트의 생존율이 GBR을 시행하지 않고 온전한 치조골에 식립된 임플란트의 생존율과 유사하다는 결과들이 보고되었다[3, 4]. 전통적으로 GBR을 동반하면서 시행하는 임플란트 수술의 경우 두 단계의 외과적 수술을 통해 시행되는데 연조직 하방에 임플란트 픽스처를 submerged 형태로 식립한 후 3~6개월 동안의 치유기간을 거쳐 임플란트 2차수술을 시행하게 된다[5]. GBR을 동반한 1회법의 임플란트 식립은 경미하거나 중등도의 골결손부에서 시행 가능한 치료방법이며 발치 후 즉시 식립 또는 치유된 치조제에서 시행할 수 있다[1].

결손부와 골이식재 사이의 미세한 움직임은 골재생을 방해하며 섬유조직의 발달을 초래하여 성공적인 골재생을 초래하지 못한다고 알려져 왔다. 이러한 골이식의 움직임을 보호하고 상피의 치근방향 이주방지 및 성공적 GBR을 위하여 흡수성 혹은 비흡수성 차폐막의 사용이 이루어지고 있다. 하지만 입자형 골이식재와 흡수성 차폐막만을 이용하여 GBR을 시행할 경우 차폐막의 미세움직임과 더불어 골이식재의 변위 및 붕괴에 대한 저항성이 좋지 않다[6]. 판막을 봉합하는 동안 또는 치유 단계 동안 골이식된 부위에 가해지는 압력으로 골이식재의 붕괴 및 일부 변위가 일어날 수 있다[7-9]. Wessing 등 [10]에 따르면 입자형 골이식재와 흡수성 차폐막을 사용한 GBR은 치조골 재건에 효과적인 방법이며 고정핀과 같은 재료들을 사용하여 차폐막을 고정하여 골이식재와 차폐막의 움직임을 최소화하는 것이 성공적인 GBR에 도움이 될 수 있다고 하였다. 이 외에도 여러 문헌에서 다양한 방법으로 차폐막을 고정하는 방법들이 발표되었으며 이러한 방법들은 GBR 결과에 긍정적인 영향을 끼친다고 보고되었다[11-15]. Saurabh 등 [12]은 차폐막 고정을 위해 흡수성 봉합사를 이용하여 골이식한 부위에 흡수성 차폐막을 피개한 후 협,설측 판막에 수평매트리스 봉합을 통한 차폐막 고정을 시행하였다. Urban 등 [14]에 따르면 단일 임플란트 식립과 동시에 진행한 입자형 골이식

재와 흡수성 차폐막을 고정하기 위해 골막 수직 매트릭스 봉합술을 사용하는 방법을 제안하였다. Mir-Mari 등 [16]에 따르면 입자형 골이식재와 흡수성 차폐막을 사용하였을 때 고정핀을 사용하여 흡수성 차폐막을 고정하는 것이 필요함을 강조하였다. Le 등 [17]에 따르면 골이식을 동반한 임플란트 식립을 수행할 때 치유시대주를 사용하여 차폐막을 고정하였을 때 골이식재의 분산과 압력을 최소화하고 치유기간동안 골이식한 부위의 연조직과 경조직의 재생이 잘 이루어지도록 한다고 보고하였다.

이 연구의 주요 목적은 돼지 하악골에 실제 우리가 임상에서 흔히 접할 수 있는 임플란트 식립시 협측골 열개(dehiscence)를 재현한 골결손부를 형성하여 임플란트 식립과 함께 차폐막의 서로 다른 고정방법에 따라 GBR을 시행한 후 판막의 봉합이 이식재료의 변위에 끼치는 영향을 방사선학적으로 평가하는 것이다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 재료

이 연구에서는 세 가지 GBR 방법에 대해 비교연구하였다. 대조군은 입자형 합성골 이식재 (Bontree[®](powder type, 0.3~0.85 mm); Hudens-Bio, Gwangju, Korea)과 흡수성 차폐막 (Remaix[®]; Matricel GmbH, Herzogenrath, Germany)만을 사용하였으며, 실험군 I 는 입자형 합성골 이식재와 흡수성 차폐막 그리고 치유지대주 (NSHAR5023[®](Cornical shape, Ø 5 mm, H 5mm, Ti); Shinhung, Seoul, Korea)을 사용하였다. 실험군 II 는 입자형 합성골 이식재, 흡수성 차폐막, 치유지대주 그리고 고정핀 (BTS75-30; Osung, Gimpo, Korea)을 사용하였다. 치유지대주와 흡수성 차폐막을 고정시키기 위해선 흡수성 차폐막에 membrane punch(MP40, seummedi, Bucheon, Korea)를 사용하였다.

2. Ex vivo 모델

이 연구에서는 희생된지 하루가 지난 5개월 된 돼지 10마리의 하악골 양측에 골결손부를 형성하였다. 치조정 절개는 제 2 소구치에서 시작하여 원심방향으로 시행되었고 수직절개는 제 2 소구치에 근심에 시행되었다. 제 2 소구치와 1대구치 사이에서 원통형 카바이드 드릴을 사용하여 20개의 박스형태의 결손부 형태를 형성하였다. 골 결손부의 형태는 근심에서 원심으로 8 mm, 협측에서 설측으로 3mm, 치관에서 치근방향으로 6 mm로 형성하였다. 이 실험은 Mir-Mari[16]의 연구설계 방법에 따라 골 결손부를 형성하였다.

직경 4.0 mm, 높이 10.0 mm의 임플란트(Luna S[®]; Shinhung, Seoul, Korea)를 결손부의 근심벽과 원심벽으로부터 같은 거리에 결손부의 설측벽을 따라 임플란트 중심축을 설정하여 결손부에 식립하였다. 임플란트 shoulder는 설측벽의 치조정보다 1mm 하방에 위치시켰다. 임플란트의 중심축에 수직인 방향에서 임플란트의 협측 경계면과 결손부의 협측경계면 사이의 거리는 1 mm로 설정하였다(Fig. 1).

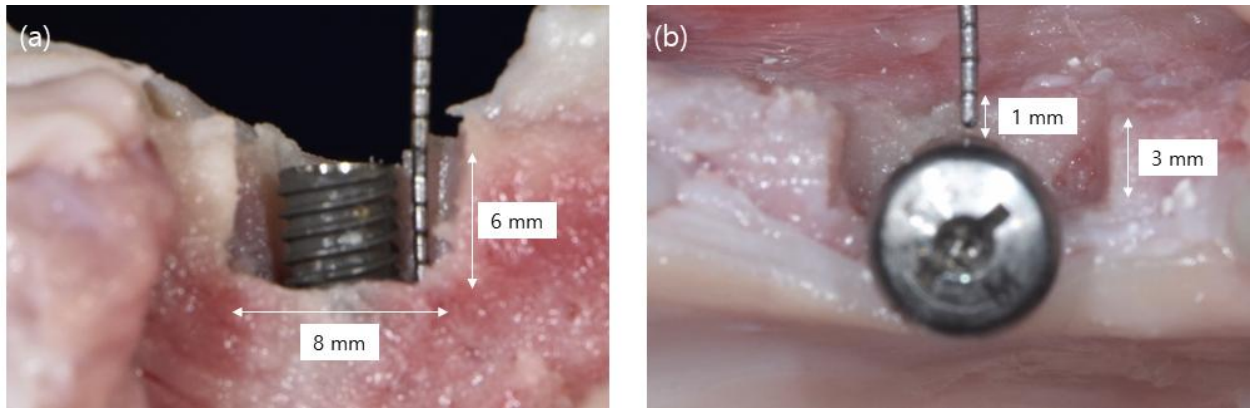


Figure 1. (a) Buccal and (b) occlusal view of the experimental peri-implant bone defect.

3. 실험 설계

골이식을 하기 전 골이식재를 방사선불투과상 77% 조영제(Ultravist 370; Bayer, Zurich, Switzerland)를 생리식염수에 4:1(생리식염수:조영제)로 희석시킨 후 혼합하여 사용하였다. 모든 골결손부는(n = 60)은 다음의 3가지 군으로 나누어 실험을 시행하였다(Fig. 2).

- 대조군 : 입자형 골이식재 + 흡수성 차폐막 (n=20)
- 실험군 I : 입자형 골이식재 + 흡수성 차폐막 + 치유지대주 (n=20)
- 실험군 II : 입자형 골이식재 + 흡수성 차폐막+ 치유지대주 + 고정핀 (n=20)

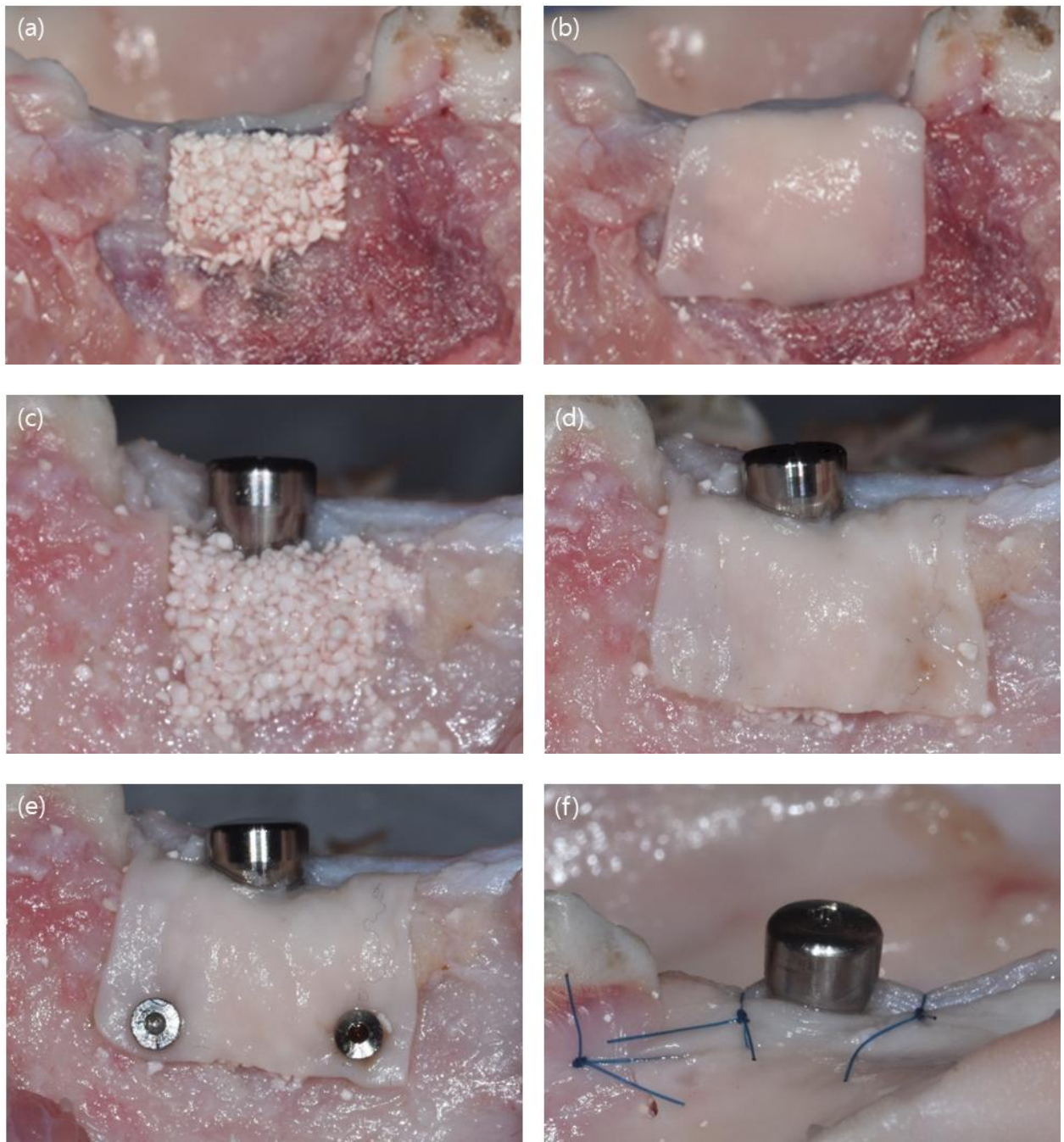


Figure 2. (a) Particulate bone substitute was grafted in the buccal aspect of defect. (b) Collagen membrane was covered. (c) Particulate bone substitute was grafted in the buccal aspect of defect with healing abutment. (d) Collagen membrane was covered with healing abutment. (e) Collagen membrane was covered and two fixation pins were fixed on the apical buccal side. (f) Buccal view after suturing.

4. 실험 과정

Ex vivo 돼지 하악턱에서 박스형태의 결손부를 형성한 후 임플란트 식립을 시행한다. 이후 형성된 치조골 결손부의 협측경계면에 협측 표면에 대해 2 mm 정도 협측으로 과형성(overcontour)을 형성해주는 것을 목표로 골이식재를 적용하였다. 흡수성 차폐막을 골이식재 위에 덮고 결손부 경계선의 주변 2 mm까지 피개하였다.

치유지대주와 흡수성 차폐막을 고정시키기 위해선 흡수성 차폐막에 membrane punch(MP40, seummedi, Bucheon, Korea)를 이용하여 원형의 구멍을 형성한 후 치유지대주와 임플란트 사이에 넣고 치유지대주를 체결하였다. 골이식재와 고정핀을 사용한 경우에는 2개의 고정핀을 결손 부위의 치근단 벽 하연에 치근단으로 1~2 mm 위치시켜 흡수성 차폐막을 고정시켰다. 1차 폐쇄를 위해 협측 판막을 5 mm 정도 감장 절개를 시행하였으며 판막의 수평, 수직절개 부위는 폴리아미드 봉합사(Rexlon 5-0; SM Eng, Busan, Korea)로 단순 봉합을 시행하였다.

5. 방사선학적 평가

하악의 CBCT 촬영 (Planmeca Viso G7; Planmeca, Helsinki, Finland)은 각 부위에서 판막 봉합 직전과 직후에 시행되었다. 방사선 사진촬영을 위해, 하악은 교합면이 수평면에 평행하게 하여 하악을 지지하는 장치에 위치하게 하였고 레이저 방향 빔을 사용하여 기준선의 중심(FOV)에 위치되었다. CBCT 촬영은 다음과 같은 기준으로 설정되어 시행되었다:

120kV 관전압, 40mA 관전류, FOV 크기 :17 x 17 cm, 복셀 크기 0.15 mm

OnDemand 3D application (Ondemand, London, United kingdom)가 CBCT DICOM 데이터 분석에 사용되었다. 임플란트 중심축에 수직인 단면 영상을 사용하여 임플란트 솔더(HT0 mm)와 임플란트 솔더에서 근단으로 1, 2, 3, 4, 5 mm (HT1 mm- HT5 mm) 간격으로 수평적으로 증대된 골이식양을 측정하였다 (Fig. 3).

방사선학적 평가의 신뢰도를 높이기 위해 '검사-재검사 신뢰도' 방법을 사용하였다. 무작위로 선택한 10개의 CT 방사선 사진을 4주 간격으로 두 번 측정하여 검사자 내 신뢰도를 평가했다. Pearson 상관 계수(r)를 사용하여 비교되었고 신뢰할 수 있는 반복성 빈도($r > 0.90$)가 측정되었다. 그 후 모든 측정은 3회 실시하여 평균값을 사용하였다.

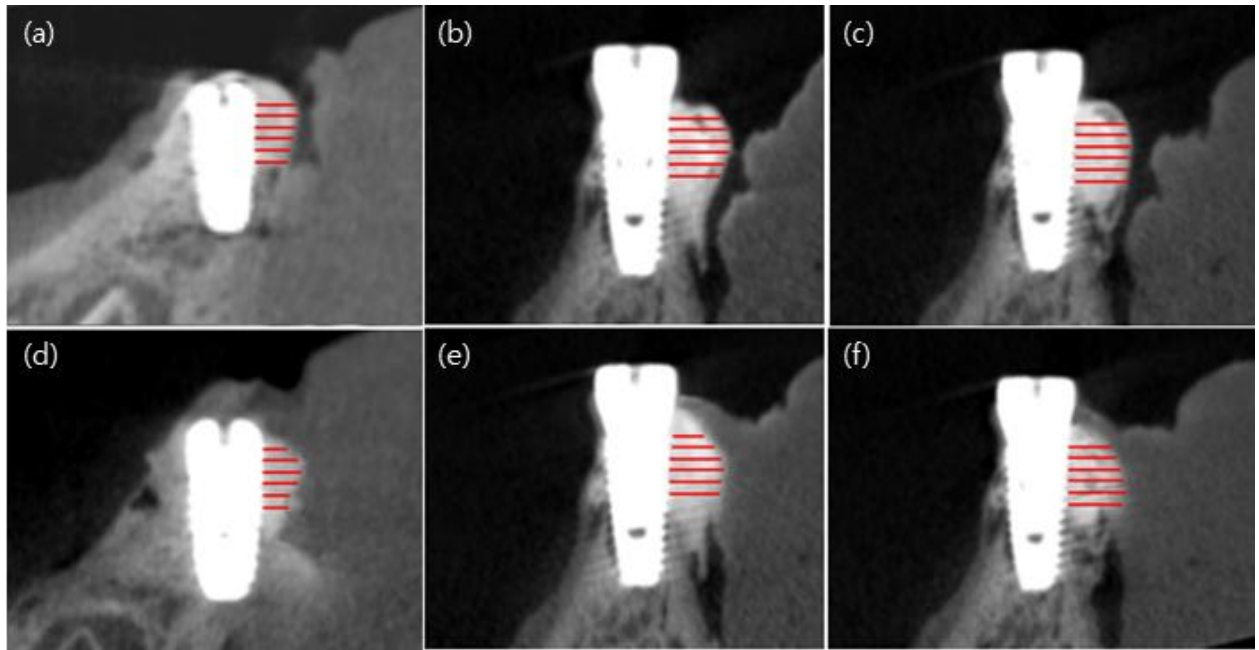


Figure 3. Bucco-oral CBCT reconstructions with the measurements of the dimensions of the augmented regions (HT0 mm - HT5 mm). (a),(b),(c) : before suturing, (d),(e),(f) : after suturing; (a),(d) : Control group (pBs), (b),(e) : Experimental group I (pBS+HA), and (c),(f) : Experimental group II (pBS+HA+FP)

6. 통계 분석

HT의 변화량은 판막 봉합 전과 후의 방사선학적으로 측정된 값의 차이를 절대값 (mm) 및 상대값 (%)으로 계산되었으며 통계분석은 SPSS 27.0 software (SPSS; IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하였다. 기술 통계는 모든 매개변수에 대해 계산되었다. 연속 매개변수의 경우 데이터 분포는 막대 그래프와 상자 그림으로 표시되었다. 각 그룹들의 실험값은 평균, 표준 편차(SD) 및 95% 신뢰 구간(CI)을 사용하여 분석되었다. 정규성 검정은 Kolmogorov-Smirnov 및 Shapiro-Wilk 테스트에 의해 확인되었다. HT의 변화는 모든 경우에서 정규성을 만족하였고, 봉합 전 HT 값은 HT0 mm을 제외한 모든 경우에서 정규성을 만족하였다.

추론통계는 반복측정 ANOVA와 대응표본 T-검정을 시행하였다. 3가지 매개변수에 따른 HT 값의 차이를 확인하기 위해 반복측정 ANOVA 검정을 시행하였다. 각 매개변

수에 대해 Mauchly 구형성 검정을 시행하였고, 구형성을 만족하지 않은 경우는 Greenhouse-Geisser correction을 동반한 반복측정 ANOVA를 시행하였다.

골증대술의 방법에 따른 봉합 전후 HT의 변화에 대해 각 쌍의 통계적으로 유의미한 차이를 확인하기 위해, 정규성 검정을 만족한 경우 대응표본 T-검정을 시행하였다. 정규성을 만족하지 않은 경우 Wilcoxon 검정을 시행하였다. 골증대술의 방법에 따른 봉합 전 HT 값과 봉합 전후에 따른 HT 값에 대해서도 같은 방법을 적용하여 분석하였다.

III. 연구 결과

봉합전 골증대술 부위의 협측 두께(HT)에 대한 이원 반복 분산분석 결과, 수술방법 간에 수평두께에 대한 통계적으로 유의한 차이가 있었고, 측정하는 부위에 따른 수평 두께에 대한 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 또한 수술방법과 측정부위에 따른 수평두께의 상호작용은 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었다. (Table 1a.)

봉합후 골증대술 부위의 협측두께에 대한 삼원 반복 분산 분석 결과, 수술방법간의 수평적 두께에 대한 통계적으로 유의한 차이는 없었고, 측정하는 부위에 따른 수평두께에 대한 통계적으로 유의한 차이는 있었다. 또한 봉합에 의한 수평 두께의 통계적 유의한 차이는 있었다. 수술방법과 측정부위사이, 수술방법과 봉합전후 그리고 측정부위와 봉합전후사이에는 수평두께에 대한 통계적으로 유의한 상호작용이 있었다. 하지만, 수술방법, 측정부위 그리고 봉합전후 사이에는 수평두께에 대한 통계적으로 유의한 상호작용이 없었다. (Table 1b.)

Table 1. (a) Results of two-factor repeated-measures ANOVA for horizontal thickness of the augmented region before suturing (baseline) and (b) Results of two- and three-factor repeated-measures ANOVA for horizontal thickness of the augmented region after suturing

Factor(s)	Mauchly's sphericity	F	df	P-value*
(a)				
(1) Treatment modality§	0.681	3.58	2	0.038
(2) Apico-coronal level‡	<0.001	90.79	2.44	<0.001†
(1) X (2)	<0.001	8.98	3.9	<0.001†
(b)				
(1) Treatment modality§	0.406	1.347	2	0.272
(2) Apico-coronal level‡	0.012	115.01	2.8	<0.001†
(3) Suturing	1	456.17	1	<0.001†
(1) X (2)	<0.001	9.38	4.81	<0.001†
(1) X (3)	0.621	38.65	2	<0.001†
(2) X (3)	<0.001	62.95	3.3	<0.001†
(1) X (2) X (3)	0.26	1.41	10	0.177

(1), Treatment modality; (2), Apico-coronal level; (3), Suturing; X, interactions between the factors;

F, F-Test; df, degrees of freedom;

*, results of repeated-measures ANOVA with Greenhouse-Geisser correction;

†, statistically significant.

§, GBR procedures.

‡, 0-5 mm implant shoulder to the apical.

봉합 전과 봉합 후의 HT의 결과와 서로 다른 GBR 과정에 대한 HT의 변화는 Table 2와 3, Fig. 4와 5에 제시되어 있다.

HT0 mm의 변화량은 대조군의 경우 $33.6 \pm 9.4\%$, 실험군 I의 경우 $19.6 \pm 7.6\%$, 실험군 II의 경우 $11.8 \pm 4.8\%$ 로 측정되었다. HT1 mm의 변화량은 대조군의 경우 $27.7 \pm 6.9\%$, 실험군 I의 경우 $17.5 \pm 5.0\%$, 실험군 II의 경우 $9.0 \pm 10.2\%$ 로 측정되었다. HT2 mm의 변화량은 대조군의 경우 $20.3 \pm 7.6\%$, 실험군 I의 경우 $14.3 \pm 4.5\%$, 실험군 II의 경우 $2.6 \pm 8.5\%$ 로 측정되었다. HT0 mm, HT1 mm 및 HT2 mm의 변화량은 모든 실험군에서 통계적으로 유의미한 차이가 있었다 (대조군 HT0~2 mm, $P < 0.001$; 실험군 I HT0~2 mm, $P < 0.001$; 실험군 II HT0,1 mm, $P < 0.001$, 실험군 II HT2 mm, $P = 0.015$). HT3 mm의 변화량은 대조군과 실험군 I에서 통계적으로 유의미한 결과를 보여주었다 (대조군 HT3 mm, $P < 0.001$; 실험군 I HT3 mm, $P < 0.001$). HT4 mm와 HT5 mm의 변화에서는 대조군에서만 통계적 유의미한 차이를 보여주었다 (대조군 HT4,5 mm, $P < 0.001$),(Table 2; Fig. 4).

대조군과 실험군 I 간의 HT0~5 mm 부위 변화량 (HT0,1,3,4 mm, $P < 0.001$; HT2 mm, $P = 0.006$; HT5 mm, $P = 0.002$) 및 대조군과 실험군 II 간의 HT0~5 mm 변화량 (HT0~2,4,5 mm, $P < 0.001$; HT1 mm, $P < 0.001$; HT2 mm, $P < 0.001$; HT3 mm, $P < 0.001$)은 통계적으로 유의미한 차이를 보여주었다.

실험군 I와 II 간의 HT0~5 mm 변화량은 HT5 mm 부위를 제외한 HT0~4 mm 부위에서 통계적으로 유의미한 차이가 관찰되었다(HT0 mm, $P = 0.012$; HT1 mm, $P = 0.007$; HT2 mm, $P < 0.001$; HT3 mm, $P = 0.006$; HT4 mm, $P = 0.048$)(Table 3; Fig. 5).

Table 2. Results of horizontal thickness of the augmented region (HT) and change in HT at different apico-coronal levels for (a) Control Group (pBS), (b) Experimental group I (pBS+HA), (c) Experimental group II (pBS+HA+FP)

Treatment modality	Parameter	Before suturing (mm)	After suturing (mm)	Change (mm)	Change (%)	P value*
		Mean ± SD [95% CI]				
(a) Control Group (n = 20)	HT ₀ mm	2.8 ± 0.4 [2.6;2.9]	1.8 ± 0.3 [1.7;2.0]	-0.9 ± 0.3[-1.1;-0.8]	33.6 ± 9.4	<0.001
	HT ₁ mm	3.0 ± 0.4 [2.8;3.1]	2.1 ± 0.3 [2.0;2.3]	-0.8 ± 0.2[-0.9;-0.7]	27.7 ± 6.9	<0.001
	HT ₂ mm	3.3 ± 0.4 [3.1;3.4]	2.6 ± 0.4 [2.4;2.8]	-0.7 ± 0.3[-0.8;-0.5]	20.3 ± 7.6	<0.001
	HT ₃ mm	3.3 ± 0.4 [3.1;3.5]	2.7 ± 0.5 [2.5;2.9]	-0.5 ± 0.2[-0.6;-0.4]	16.8 ± 7.8	<0.001
	HT ₄ mm	3.2 ± 0.3 [3.0;3.3]	2.8 ± 0.4 [2.6;3.0]	-0.4 ± 0.2[-0.5;-0.3]	12.4 ± 6.0	<0.001
	HT ₅ mm	2.9 ± 0.3 [2.8;3.1]	2.6 ± 0.3 [2.5;2.7]	-0.4 ± 0.1[-0.4;-0.3]	12.0 ± 3.8	<0.001
(b) Experimental Group I (n = 20)	HT ₀ mm	2.7 ± 0.3 [2.5;2.8]	2.1 ± 0.2 [2.0;2.2]	-0.5 ± 0.2[-0.6;-0.4]	19.6 ± 7.6	<0.001
	HT ₁ mm	2.9 ± 0.3 [2.8;3.1]	2.4 ± 0.3 [2.3;2.5]	-0.5 ± 0.2[-0.6;-0.4]	17.5 ± 5.0	<0.001
	HT ₂ mm	3.1 ± 0.4 [3.0;3.3]	2.7 ± 0.4 [2.5;2.8]	-0.4 ± 0.1[-0.5;-0.4]	14.3 ± 4.5	<0.001
	HT ₃ mm	3.1 ± 0.3 [3.0;3.3]	2.8 ± 0.3 [2.7;2.9]	-0.3 ± 0.3[-0.4;-0.2]	10.1 ± 8.4	<0.001
	HT ₄ mm	2.8 ± 0.4 [2.6;2.9]	2.7 ± 0.4 [2.5;2.8]	-0.1 ± 0.2[-0.2;0.0]	3.21 ± 8.9	0.051
	HT ₅ mm	2.5 ± 0.3 [2.4;2.7]	2.4 ± 0.4 [2.2;2.6]	-0.1 ± 0.3[-0.2;0.0]	4.2 ± 12.6	0.074
(c) Experimental group II (n=20)	HT ₀ mm	2.7 ± 0.2 [2.6;2.8]	2.4 ± 0.2 [2.3;2.4]	-0.3 ± 0.1[-0.4;-0.3]	11.8 ± 4.8	<0.001
	HT ₁ mm	2.8 ± 0.4 [2.6;3.0]	2.5 ± 0.3 [2.4;2.6]	-0.3 ± 0.3[-0.4;-0.2]	9.0 ± 10.2	<0.001
	HT ₂ mm	3.0 ± 0.3 [2.9;3.1]	2.9 ± 0.3 [2.8;3.0]	-0.1 ± 0.2[-0.2;-0.0]	2.6 ± 8.5	0.015
	HT ₃ mm	3.1 ± 0.3 [3.0;3.2]	3.0 ± 0.2 [2.9;3.1]	-0.1 ± 0.3[-0.2;0.1]	0.7 ± 7.6	0.118
	HT ₄ mm	2.9 ± 0.3 [2.8;3.1]	3.0 ± 0.3 [2.9;3.1]	0.1 ± 0.2[-0.0;0.1]	-2.3 ± 7.0	0.867
	HT ₅ mm	2.9 ± 0.3 [2.8;3.0]	2.9 ± 0.3 [2.8;3.1]	0.0 ± 0.3[-0.1;0.2]	0.1 ± 10.9	0.757

n, number; HT X mm, horizontal thickness of the augmented region measured X mm apical to the implant shoulder; SD, standard deviation; 95% CI, 95% confidence interval;

*, results of repeated-measures ANOVA with Greenhouse-Geisser correction;

†, statistically significant.

Table 3. Results of change in horizontal thickness of the augmented region for different treatment procedures together with the results of repeated measures ANOVA

	Change(mm)			Change(%)			Statistical analysis *	
	Control	Exp. I	Exp. II	Control	Exp. I	Exp. II		
	Mean ± SD [95% CI]							
HT ₀ mm	-0.9 ± 0.3	-0.5 ± 0.2	-0.3 ± 0.1	-33.6 ± 9.4	-19.6 ± 7.6	-11.8 ± 4.8	C vs E1	<0.001†
	[-1.1 ; -0.8]	[-0.6 ; -0.4]	[-0.4 ; -0.3]	[-37.7 ; -29.5]	[-23 ; -16.3]	[-13.9 ; -9.7]	C vs E2	<0.001†
HT ₁ mm							E1 vs E2	0.012†
	-0.8 ± 0.2	-0.5 ± 0.2	-0.3 ± 0.3	-27.7 ± 6.9	-17.5 ± 5.0	-9.0 ± 10.2	C vs E1	<0.001†
	[-0.9 ; -0.7]	[-0.6 ; -0.4]	[-0.4 ; -0.2]	[-30.7 ; -24.7]	[-19.7 ; -15.3]	[-14.1 ; -6.2]	C vs E2	<0.001†
HT ₂ mm							E1 vs E2	0.007†
	-0.7 ± 0.3	-0.4 ± 0.1	-0.1 ± 0.2	-20.3 ± 7.6	-14.3 ± 4.5	-2.6 ± 8.5	C vs E1	0.006†
	[-0.8 ; -0.5]	[-0.5 ; -0.4]	[-0.2 ; -0.0]	[-23.6 ; -17]	[-16.2 ; -12.3]	[-6.6 ; -0.4]	C vs E2	<0.001†
HT ₃ mm							E1 vs E2	<0.001†
	-0.5 ± 0.2	-0.3 ± 0.3	-0.1 ± 0.3	-16.8 ± 7.8	-9.5 ± 8.5	-0.7 ± 7.6	C vs E1	0.010†
	[-0.6 ; -0.4]	[-0.4 ; -0.2]	[-0.2 ; 0.1]	[-20.2 ; -13.4]	[-13.8 ; -6.4]	[-6.0 ; 2.2]	C vs E2	<0.001†
HT ₄ mm							E1 vs E2	0.006†
	-0.4 ± 0.2	-0.1 ± 0.2	0.1 ± 0.2	-12.4 ± 6.0	-4.4 ± 8.1	2.3 ± 7.0	C vs E1	<0.001†
	[-0.5 ; -0.3]	[-0.2 ; 0.0]	[-0.0 ; 0.1]	[-15.1 ; -9.8]	[-7.1 ; 0.7]	[-0.9 ; 5.0]	C vs E2	<0.001†
HT ₅ mm							E1 vs E2	0.048†
	-0.4 ± 0.1	-0.1 ± 0.3	0.0 ± 0.3	-12.0 ± 3.8	-4.2 ± 12.6	0.1 ± 10.9	C vs E1	0.002†
	[-0.4 ; -0.3]	[-0.2 ; 0.0]	[-0.1 ; 0.2]	[-13.7 ; -10.4]	[-9.8 ; 1.3]	[-2.3 ; 6.1]	C vs E2	<0.001†
						E1 vs E2	0.118	

HT X mm, horizontal thickness of the augmented region measured X mm apical to the implant shoulder; SD, standard deviation; 95% CI, 95% confidence interval;

*, results of repeated-measures ANOVA with Greenhouse-Geisser correction;

†, statistically significant;

Exp., Experimental Group

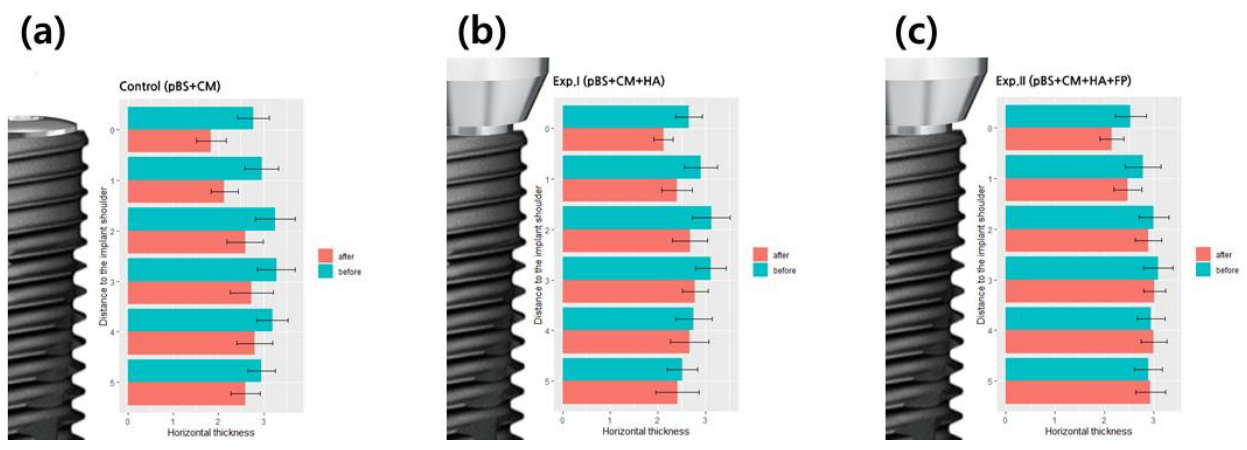


Figure 4. Bar plots representing the horizontal thicknesses of the augmented regions at different apico-coronal levels (HT0 mm - HT5 mm) before and after suturing for (a) Control Group (pBS), (b) Experimental group I (pBS+HA), (c) Experimental group II (pBS+HA+FP) treatment procedures.

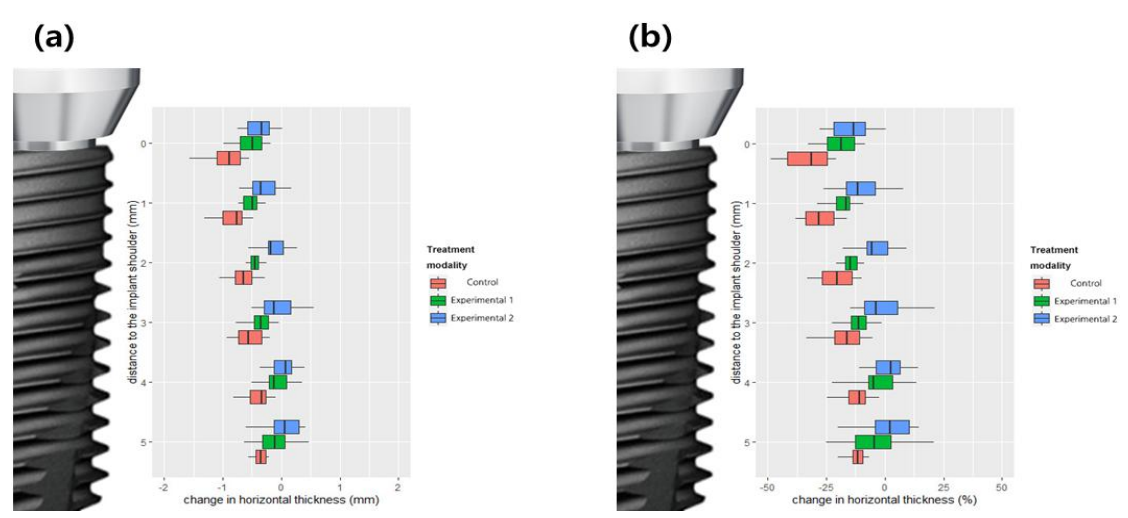


Figure 5. Box plots representing the changes of horizontal thicknesses of the augmented regions during suturing for Control Group (pBS), Experimental group I (pBS+HA), and Experimental group II (pBS+HA+FP) treatment procedures (a) in mm and (b) in %.

IV. 고찰

GBR은 임플란트 주변 골 결손부를 회복하고 장기적인 임플란트 사용에 있어 발생할 수 있는 문제점을 해결해 준다. 심미적으로 민감한 전치부의 경우 비매립형의 골유도 재생술을 시행하여 치조능선의 순측 윤곽을 증가시킬 수 있고 임플란트 주변 연조직과 경조직의 형태를 회복시켜줄 수 있다. GBR을 시행할 때 이식 부위의 체적 안정성에 영향을 미치는 다양한 요인들이 존재한다. 특히 골이식재의 미세움직임은 골이식재의 골개조기간 증대되었던 골이식재의 부피에 영향을 미칠 수 있게 된다[14]. 특히 수술 부위의 판막 봉합을 시행 할 때 긴장성이 없는 일차폐쇄를 시행해야 한다. 하지만 골 이식한 부위의 상부에서 연조직의 압력으로 인해 발생하는 힘은 피할 수 없다[6]. 이 연구에서도 감장절개를 통해 일차폐쇄를 시행하였으나 실험결과에서 모든 실험군에서 연조직의 압력에 의한 골이식의 변위가 나타났다.

Grunder [18] 등의 연구에서 임플란트 주변의 경조직과 연조직의 장기적 안정성을 위해 임플란트의 플랫폼 수준에서 협측으로 2mm 이상의 골폭이 필요하다고 보고하였으며 골폭이 2mm 이하로 유지되면 경조직의 흡수, 연조직의 퇴축 및 심미적 손실을 유발할 수 있으며, 임플란트 실패가 발생할 수 있다고 보고하였다[19-21]. 또한 순측이나 협측의 연조직의 퇴축을 방지하고자 입자형 골이식재와 흡수성 차폐막을 사용하여 잔존 치조골의 폭과 높이를 보호하여 예지성 있는 결과를 얻을 수 있으며 연조직이 치조골에 의해 지지되는 심미적인 결과 및 향후 상피하 결합 조직 이식의 필요성을 줄여줄 수 있다고 보고되었다[22, 23]. 이 연구에서는 임상에서와 유사한 실험 환경을 만들기 위해 임플란트 협측 경계부에서 1 mm의 결손부를 형성하고 2 mm 정도 과잉되게 골 이식을 하여 봉합 후에도 2 mm 이상의 수평골이 유지되도록 설계하였다.

또한 이 연구는 임플란트를 식립하면서 흡수성 차폐막을 이용한 GBR을 동시에 시행하는 방법으로 연구설계를 하였으며, 동시에 healing abutment를 체결하는 방법에 의한 수평골 두께의 변화를 연구하였다. 최근에 치과의사들과 환자들은 환자의 치료 기간과 내원횟수 등의 이유로 GBR 후 임플란트를 식립하는 2회법 임플란트 식립보다는 임플란트를 식립하면서 동시에 GBR을 시행하는 방법을 더 선호하고 있다. 또한 Hämmerle과 Lang [24]에 따르면 흡수성 차폐막과 입자형 골이식재를 이용하여 transmucosal GBR을 시행한 경우 추후 차폐막 제거를 위한 수술이 필요하지 않기 때

문에 수술횟수를 줄여서 결과적으로 연조직의 회복에 좋은 결과가 나타난다. 특히 발치 후 즉시식립과 같은 케이스의 경우 임플란트와 발치와 부위 사이의 공극에 GBR을 시행하고 흡수성차폐막과 함께 치유지대주를 사용하면 연조직과 경조직의 회복을 촉진시킬 수 있다고 발표하였다[25]. Carpio [26] 등의 연구에 따르면 48명을 대상으로 임플란트 식립시 GBR을 동시에 시행하면서 고정핀을 이용하여 차폐막을 고정하였을 때 63.6%에서 특이사항 없이 정상 회복되었으며 차폐막을 고정하지 않고 GBR을 시행했을 경우 오직 28.6%만이 특이사항 없이 회복되었다고 보고하였다. 성공적인 GBR의 핵심은 골이식재의 미세한 움직임의 최소화하는 것이며 이식재의 동요가 발생한 경우에 연조직의 열개나 혈병 형성의 문제 등 여러 문제들을 야기할 수 있다고 보고하였다. Christian [27] 등은 이 실험과 유사하게 돼지 하악턱에서 골결손부를 형성하여 임플란트 식립 후 입자형 골이식재와 흡수성 차폐막과 고정핀을 사용한 연구에서 고정핀을 사용하지 않았을 경우보다 30% 정도 변화량이 감소됨을 보고하였으며 이는 고정핀의 사용은 골이식재와 차폐막의 붕괴를 방지하고 안정화 할 수 있다고 보고하였다[28]. 이 연구에서도 입자형 골이식재와 흡수성 차폐막과 치유지대주, 고정핀을 사용했을 때, 고정핀을 사용하지 않을 때에 비해 10% 정도의 변화량 감소가 나타났다.

Hämmerle [29] 등은 흡수성 차폐막을 이용한 경우에 치유지대주에 고정을 하여 봉합하면 조직간 결합이 더 잘 이루어지고 연조직의 치유를 향상시킬 수 있다고 보고하였다[31]. 그리고 Cordaro [31] 등은 매립형으로 임플란트를 식립하면서 GBR을 시행한 경우 매립형으로 임플란트를 식립하면서 GBR을 시행했을 때 보다 손실되는 각화치은 양이 1 mm정도 감소된다고 보고하였다. 이것은 매립형으로 임플란트를 식립하고 GBR을 시행했을 때 일차폐쇄를 시행하기위해 치은점막경계(mucogingival junction)가 치관측으로 위치가 변하면서 각화 치은의 폭이 감소하는 것으로 간주된다. 또한 Le [17] 등에 따르면 1회법 임플란트 식립과 동시에 GBR을 시행할 때 치유 지대주의 사용은 임플란트 주변 연조직을 지지하면서 긴장감 없는 1차폐쇄를 시행하기에 좋은 환경을 제공해준다고 하였다. 또한 치유기간을 단축시키고 이식 재료의 apicocoronal (치관-치근)방향으로 이동을 줄여준다고 하였으며, 이에 따라 잔존해있는 치조골의 너비와 높이를 보호하여 향후 예후를 향상시켜줄 수 있다[22, 32]. 이 연구에서는 치유지대주를 사용하지 않은 대조군에 비해 치유지대주를 사용한 실험군 I, II에서 MGJ가 더 근단으로 위치되는 것을 확인할 수 있어 일차폐쇄시 긴장감이 없는 봉합이 가능했다.

이 연구에서는 발치 후 즉시 임플란트의 경우나 수직적, 수평적으로 치조골 소실이 심하지 않은 경우를 가상으로 하여 돼지 하악골에 box 형태로 골 결손부를 형성하여 임플란트 식립과 동시에 GBR을 시행한 임상 상황을 재현하고자 하였다. Benic과 Hämmerle [1]에 따르면 골이식재와 고정되어 있지 않은 흡수성 차폐막을 사용할 때 일반적으로 골이식재를 과도하게 넣어 이식재의 일부가 변위되는 것을 보상해주는 것이 좋다고 하였다. 이 연구에서도 치조능선의 협측에 2 mm 정도 과형성 할 수 있게 이식재를 위치시켰다. 또한 이 연구 결과, 임플란트 주위 골 결손의 GBR 후 관막 봉합은 임플란트 솔더 부위에서 입자형 골이식재의 상당한 변위를 발생시켜 11~34%의 부분적 붕괴를 초래했다. 임플란트 솔더 및 관상부분에 있던 골이식재는 근원심과 근단방향으로 이동함이 관찰되었다. 이러한 결과는 모든 경우에서 임상적으로 장력이 없는 1차 폐쇄가 되었지만 봉합하는 동안 증대된 부위의 관상 부분(coronal part)에 대한 압축력을 완전히 피할 수 없었음을 보여준다.

입자형 골이식재와 흡수성 차폐막을 고정하기 Urban [14] 등이 제시한 골막 수직 매트리스 봉합술을 사용하는 방법은 봉합사의 인장강도와 흡수율에 의한 한계점이 관찰되었으며, 흡수성 차폐막의 고정은 흡수성 봉합사의 생분해 기간 동안에만 지속되게 되었다. 봉합사의 인장강도는 봉합 후 1주일 되는 시점에 처음 강도의 50~60% 정도로 감소되며 2주가 지나면 20~30% 정도로 감소되었다고 보고하였다. 따라서 이식재 내로 재혈관화와 생물학적 골개조가 이루어지기 전에 봉합사가 흡수되어 이식재의 변위가 발생할 수 있다고 하였다. 또 다른 한계로는 차폐막을 고정하는 봉합사의 압력으로 인해 apicocoronal 방향(치관-근단)으로 입자형 골이식재의 붕괴를 초래할 수 있다고 하였다. [33-35] Mir-Mari [16] 등에 따르면 입자형 골이식재의 약 20%에서 40%가 봉합시 흩어지거나 전위되어 임플란트 식립과 동시에 GBR을 시행한 경우 주위에 열개나 천공의 가능성이 증가한다고 하였으며 고정핀을 사용하거나 블록본을 이용하였을 때 이식재의 안정성은 증가한다고 보고하였다. 하지만 임플란트 솔더 부분에선 고정핀을 사용하거나 블록본을 사용하더라도 골이식한 양의 약 20% 정도가 붕괴됨을 보여주었다. [8, 36, 37] 이 연구에서는 치유지대주에 흡수성 차폐막을 고정시켜 최대한 차폐막과 골이식재의 안정성을 얻고자 하였다. 연구 결과, Control Group의 경우 HT0 mm에서 평균 34% 정도 붕괴되는 결과가 나타났으며 골이식재와 흡수성 차폐막의 변위는 대부분 임플란트 솔더 부분인 coronal 부위에서 두드러지게 관찰되었다. 이는 최대한 장력이 없는 봉합을 시행하였더라도 봉합하는 동안 coronal 부위에서 압축력을 완전히

피할 수 없었음을 보여준다. 하지만 치유지대주만을 사용하여(Experimental Group I) 차폐막을 고정하는 GBR의 경우엔 HT0 mm에서 평균 20%만 붕괴되는 결과를 보였으며 치유지대주를 사용하지 않았을 때(Control group)보다 (평균 34%) 골이식재의 수평적 증대량과 안정성이 더 좋은 결과를 보여주었다. 또한 Mir-Mari[38]의 Control Group인 입자형 골이식재+차폐막+고정핀을 이용한 경우 HT 0mm에서 평균 20% 감소되는 것으로 보고되었다. Experimental Group II에서는 흡수성 차폐막을 치유지대주에 결합시키고 고정핀까지 사용한 경우 HT0 mm에서 11% 정도 붕괴되는 결과가 관찰되었으며 이는 앞서 설명했던 흡수성 차폐막을 치유지대주에만 고정시킨 경우(Experimental Group I) 혹은 고정핀만 사용하였을 경우[39]에 비해 골이식재의 수평적 증대량과 안정성이 더 우수한 결과를 보여주었다. 이러한 결과는 치유지대주에 고정핀을 추가로 사용하였을 때 골이식재의 안정성이 더 증가됨을 나타낸다.

이 실험의 한계는 임플란트 주변 결손부에서 GBR의 임상 상황을 부분적으로만 시뮬레이션한 ex vivo 실험이라는 점이다. 이러한 ex vivo 실험에서는 혈병을 형성할 수 없으며, 이로 인해 골이식재를 sticky한 상태를 재현하지 못하기 때문에 실제 임상과는 다를 수 있으며 이로 인해 골이식재의 붕괴와 변위가 더 잘 일어날 수 있었다. 골이식재의 종류와 입자의 크기가 이 실험 결과에 변수로 작용할 수 있다는 점이 한계로 관찰되었다. 특히 실험을 진행하는 환경에 따라 돼지의 판막이 건조해지고 골이식재와 혼합되었던 조영제도 건조해지면서 조작성이 떨어지고 골결손부 형태에 모양을 잘 유지시키지 못하기도 하였다. 또한 골이식재와 조영제의 혼합을 위해 사용하였을 때 비율을 동일시하여 진행하였지만 CBCT 촬영시 임플란트의 금속성질로 인한 잔사로 이식재와 임플란트 경계가 명확하게 관찰되지 못한 부분들도 있었다. 골이식재의 변위와 붕괴가 어느방향으로 얼마나 이루어졌는지에 대한 3차원적인 관찰과 부피계측이 필요할 것으로 생각되며 이는 추후 추가적인 실험을 통해 분석해야할 것으로 사료된다. 이러한 한계점에도 불구하고 흡수성 차폐막의 고정을 상부에서 얻기위한 방법으로 사용된 치유지대주의 사용은 임플란트 식립시 골열개부위에서 골이식술 후 골이식재의 부피 안정성에 있어 예지성이 있는 결과를 나타낼 것으로 보인다.

V. 결론

Ex vivo 연구의 한계 내에서 임플란트 주변의 골 결손부에 GBR에 대해 다음과 같이 결론지을 수 있었다.

1. 봉합 중 판막의 조작은 골이식재의 변위를 유도하여 GBR 된 부위의 임플란트 상부 부위에서 콜라겐 막과 함께 붕괴됨을 나타냈다. 임플란트 솔더 부위인 HT0 mm의 변화량은 대조군인 입자형 골이식재와 흡수성 차폐막만 사용한 경우 $33.6 \pm 9.4\%$, 실험군 I인 입자형 골이식재 + 흡수성 차폐막 + 치유지대주를 사용한 경우 $19.6 \pm 7.6\%$ 감소되었다. 이는 골이식재와 흡수성 차폐막의 변위를 막기 위해 치유지대주를 흡수성 차폐막과 함께 고정하여 사용한 경우 임플란트 상부의 골이식재 붕괴를 더 감소시킬 수 있음을 보여준다.
2. 실험군 II인 입자형 골이식재 + 흡수성 차폐막 + 치유지대주 + 고정핀을 사용한 경우 감소량이 $11.8 \pm 4.8\%$ 로 측정되었다. 치유지대주와 고정핀을 함께 사용하여 흡수성 차폐막을 고정하였을 때 치유지대주 단독으로만 사용하였을 때 보다 골이식재의 증대된 부위의 안정성 측면에서 더 좋은 결과를 보여주었다.

참고문헌

1. Benic GI, Hammerle CH. Horizontal bone augmentation by means of guided bone regeneration. *Periodontol 2000*. 2014;66(1):13-40.
2. Elnayef B, Porta C, Suarez-Lopez Del Amo F, Mordini L, Gargallo-Albiol J, Hernandez-Alfaro F. The Fate of Lateral Ridge Augmentation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2018;33(3):622-35.
3. Benic GI, Jung RE, Siegenthaler DW, Hammerle CH. Clinical and radiographic comparison of implants in regenerated or native bone: 5-year results. *Clin Oral Implants Res*. 2009;20(5):507-13.
4. Jung RE, Fenner N, Hammerle CH, Zitzmann NU. Long-term outcome of implants placed with guided bone regeneration (GBR) using resorbable and non-resorbable membranes after 12-14 years. *Clin Oral Implants Res*. 2013;24(10):1065-73.
5. Jensen SS, Bosshardt DD, Gruber R, Buser D. Long-term stability of contour augmentation in the esthetic zone: histologic and histomorphometric evaluation of 12 human biopsies 14 to 80 months after augmentation. *J Periodontol*. 2014;85(11):1549-56.
6. Zellin G, Gritli-Linde A, Linde A. Healing of mandibular defects with different biodegradable and non-biodegradable membranes: an experimental study in rats. *Biomaterials*. 1995;16(8):601-9.
7. Mellonig JT, Nevins M, Sanchez R. Evaluation of a bioabsorbable physical barrier for guided bone regeneration. Part I. Material alone. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 1998;18(2):139-49.
8. Schwarz F, Hertel M, Ferrari D, Wieland M, Schmitz L, Engelhardt E, et al. Guided bone regeneration at dehiscence-type defects using biphasic hydroxyapatite + beta tricalcium phosphate (Bone Ceramic) or a collagen-coated natural bone mineral (BioOss Collagen): an immunohistochemical study in dogs. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2007;36(12):1198-206.
9. Strietzel FP, Khongkhunthian P, Khattiya R, Patchanee P, Reichart PA. Healing pattern of bone defects covered by different membrane types--a histologic

study in the porcine mandible. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2006;78(1):35-46.

10. Wessing B, Lettner S, Zechner W. Guided Bone Regeneration with Collagen Membranes and Particulate Graft Materials: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2018;33(1):87-100.

11. Johnson TM, Vargas SM, Wagner JC, Lincicum AR, Stancoven BW, Lancaster DD. The Triangle Suture for Membrane Fixation in Guided Bone Regeneration Procedures: A Report of two Cases. *Clin Adv Periodontics.* 2022;12(3):186-193.

12. Kamat SM, Khandeparker RV, Akkara F, Dhupar V, Mysore A. SauFRa Technique for the Fixation of Resorbable Membranes in Horizontal Guided Bone Regeneration: A Technical Report. *J Oral Implantol.* 2020;46(6):609-13.

13. Kirsch A, Ackermann KL, Hurzeler MB, Durr W, Hutmacher D. Development and clinical application of titanium minipins for fixation of nonresorbable barrier membranes. *Quintessence Int.* 1998;29(6):368-81.

14. Urban IA, Lozada JL, Wessing B, Suarez-Lopez del Amo F, Wang HL. Vertical Bone Grafting and Periosteal Vertical Mattress Suture for the Fixation of Resorbable Membranes and Stabilization of Particulate Grafts in Horizontal Guided Bone Regeneration to Achieve More Predictable Results: A Technical Report. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2016;36(2):153-9.

15. An YZ, Strauss FJ, Park JY, Shen YQ, Thoma DS, Lee JS. Membrane fixation enhances guided bone regeneration in standardized calvarial defects: A pre-clinical study. *J Clin Periodontol.* 2022;49(2):177-87.

16. Mir-Mari J, Wui H, Jung RE, Hammerle CH, Benic GI. Influence of blinded wound closure on the volume stability of different GBR materials: an in vitro cone-beam computed tomographic examination. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27(2):258-65.

17. Le B, Burstein J. Esthetic grafting for small volume hard and soft tissue contour defects for implant site development. *Implant Dent.* 2008;17(2):136-41.

18. Grunder U, Gracis S, Capelli M. Influence of the 3-D bone-to-implant relationship on esthetics. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2005;25(2):113-9.

19. Merheb J, Quirynen M, Teughels W. Critical buccal bone dimensions along implants. *Periodontol 2000*. 2014;66(1):97-105.
20. Qahash M, Susin C, Polimeni G, Hall J, Wikesjo UM. Bone healing dynamics at buccal peri-implant sites. *Clin Oral Implants Res*. 2008;19(2):166-72.
21. Spray JR, Black CG, Morris HF, Ochi S. The influence of bone thickness on facial marginal bone response: stage 1 placement through stage 2 uncovering. *Ann Periodontol*. 2000;5(1):119-28.
22. Le B, Hayashi N. The Aesthetic Contour Graft - Enhancing peri-implant soft tissue contours and pontic sites with guided bone regeneration. *J Esthet Restor Dent*. 2022;34(1):188-202.
23. Lin GH, Chan HL, Wang HL. Effects of currently available surgical and restorative interventions on reducing midfacial mucosal recession of immediately placed single-tooth implants: a systematic review. *J Periodontol*. 2014;85(1):92-102.
24. Hammerle CH, Lang NP. Single stage surgery combining transmucosal implant placement with guided bone regeneration and bioresorbable materials. *Clin Oral Implants Res*. 2001;12(1):9-18.
25. Zitzmann NU, Naef R, Schärer P. Resorbable versus nonresorbable membranes in combination with Bio-Oss for guided bone regeneration. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1997;12(6):844-52.
26. Carpio L, Loza J, Lynch S, Genco R. Guided bone regeneration around endosseous implants with anorganic bovine bone mineral. A randomized controlled trial comparing bioabsorbable versus non-resorbable barriers. *J Periodontol*. 2000;71(11):1743-9.
27. Mertens C, Braun S, Krisam J, Hoffmann J. The influence of wound closure on graft stability: An in vitro comparison of different bone grafting techniques for the treatment of one-wall horizontal bone defects. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2019. 21(2): p. 284-291.
28. Cucchi A, Chierico A, Fontana F, Mazzocco F, Cinquegrana C, Belleggia F, et al. Statements and Recommendations for Guided Bone Regeneration: Consensus Report of the Guided Bone Regeneration Symposium Held in Bologna, October 15 to 16, 2016. *Implant Dent*. 2019;28(4):388-99.

29. Hammerle CHF, Jung RE, Sanz M, Chen S, Martin WC, Jackowski J, et al. Submerged and transmucosal healing yield the same clinical outcomes with two-piece implants in the anterior maxilla and mandible: interim 1-year results of a randomized, controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23(2):211-9.
30. Guarnieri R, Di Nardo D, Di Giorgio G, Miccoli G, Testarelli L. Immediate non-submerged implants with laser-microtextured collar placed in the inter-radicular septum of mandibular molar extraction sockets associated to GBR: Results at 3-year. *J Clin Exp Dent.* 2020;12(4):e363-e70.
31. Cordaro L, Torsello F, Rocuzzo M. Clinical outcome of submerged vs. non-submerged implants placed in fresh extraction sockets. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20(12):1307-13.
32. Le BT, Borzabadi-Farahani A. Simultaneous implant placement and bone grafting with particulate mineralized allograft in sites with buccal wall defects, a three-year follow-up and review of literature. *J Craniomaxillofac Surg.* 2014;42(5):552-9.
33. Lorenzoni M, Pertl C, Polansky RA, Jakse N, Wegscheider WA. Evaluation of implants placed with barrier membranes. A retrospective follow-up study up to five years. *Clin Oral Implants Res.* 2002;13(3):274-80.
34. Urban IA, Nagursky H, Lozada JL. Horizontal ridge augmentation with a resorbable membrane and particulated autogenous bone with or without anorganic bovine bone-derived mineral: a prospective case series in 22 patients. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2011;26(2):404-14.
35. Romanos GE, Delgado-Ruiz RA, Gomez-Moreno G, Lopez-Lopez PJ, Mate Sanchez de Val JE, Calvo-Guirado JL. Role of mechanical compression on bone regeneration around a particulate bone graft material: an experimental study in rabbit calvaria. *Clin Oral Implants Res.* 2018;29(6):612-9.
36. Schwarz F, Ferrari D, Balic E, Buser D, Becker J, Sager M. Lateral ridge augmentation using equine- and bovine-derived cancellous bone blocks: a feasibility study in dogs. *Clin Oral Implants Res.* 2010;21(9):904-12.

37. Bae SY, Park JC, Shin HS, Lee YK, Choi SH, Jung UW. Tomographic and histometric analysis of autogenous bone block and synthetic hydroxyapatite block grafts without rigid fixation on rabbit calvaria. *J Periodontal Implant Sci.* 2014;44(5):251-8.
38. Mir-Mari J, Benic GI, Valmaseda-Castellon E, Hammerle CHF, Jung RE. Influence of wound closure on the volume stability of particulate and non-particulate GBR materials: an in vitro cone-beam computed tomographic examination. Part II. *Clin Oral Implants Res.* 2017;28(6):631-9.