

치과 임플란트를 위한 골유도 재생술시 사용되는 기성 titanium mesh의 노출 위험인자

손준배, 이 호, 한윤식, 김창수

서울특별시 서울대학교 보라매병원 치과 구강악안면외과

Risk factors of pre-formed titanium mesh exposure in guided bone regeneration for dental implants

Jun-Bae Sohn, Ho Lee, Yoon-Sic Han, Chang-Su Kim

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Section of Dentistry, Seoul Metropolitan Government-Seoul National University Boramae Medical Center, Seoul, Korea

Purpose: This study aimed to identify the risk factors of pre-formed titanium mesh (PFTM) exposure in guided bone regeneration (GBR) for dental implants.

Materials and Methods: Fifty PFTM cases in 36 patients were retrospectively reviewed using medical records and radiographs. The outcome variable was exposure of the PFTM. The predictor variables were age, sex, diabetes, region of fixture installation, immediate implantation right after tooth extraction, palatal or lingual non-self-contained defect, types and dimensions of implant fixtures, submerged or non-submerged fixture installation method, types of bone graft material, the addition of a resorbable barrier membrane on PFTM, and the amount of horizontal bone gain.

Results: The mean age of patients was 66.12 ± 9.65 years, and 64.0% of the PFTM procedures were performed on females. The average amount of horizontal bone gain was 3.082 ± 1.200 mm. Exposure of the PFTM occurred in 10 cases; of these, 8 did not have severe bone loss and completed the prosthetic treatment. However, GBR failed in the other 2 cases. In a univariable analysis, the exposure of PFTM was related to the fixture installation to the maxilla ($P = 0.011$) and the presence of palatal or lingual non-self-contained defects ($P = 0.002$). Multivariable logistic regression analysis showed a significant association between the exposure of PFTM and palatal or lingual non-self-contained defects ($OR = 13.276, P = 0.012$).

Conclusions: PFTM can be used in GBR with predictability. The exposure of the PFTM can be prevented by avoiding the formation of palatal or lingual non-self-contained defects when the fixture is placed. (THE JOURNAL OF KOREAN ACADEMY OF OSSEOINTEGRATION 2019;11(1):34-39)

Key words: Dental implants, Alveolar bone atrophy, Bone regeneration, Titanium surgical mesh, Postoperative complications

INTRODUCTION

상실치를 대체하기 위한 치아 임플란트의 성공을 위해서는 임플란트 식립부위의 온전한 치조제가 필요하다. 따라서, 치아 상실 후 치조제의 흡수가 심한 경우에는 임플란트 식립 전 혹은 동시에 골유도 재생술 등의 방법을 통해 치조제의 복원을 시도한다^{1,2}. 효

과적인 골유도 재생술을 위해서는 적절한 골이식재와 차폐막이 필요하며, 그 중에서도 차폐막은 흡수성/비흡수성으로 구분되는데, 각각은 나름의 장단점과 그에 따른 적응증을 갖고 있다³.

비흡수성 차폐막의 한 종류인 titanium mesh는 생체적합성 및 견고성이 뛰어나서 널리 사용되고 있으나⁴⁻⁶, 조기 노출 빈도가 높다는 단점이 있으며, 노출 발생시 이식한 골의 흡수 또는 골이식의

Received November 1, 2019, Revised November 13, 2019, Accepted November 15, 2019

© This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

교신저자: 이 호, 07061, 서울시 동작구 보라매로5길 20, 서울특별시 서울대학교 보라매병원 치과 구강악안면외과

Corresponding Author: Ho Lee, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Section of Dentistry, Seoul Metropolitan Government-Seoul National University Boramae Medical Center, 20 Boramae-ro 5 Gil, Dongjak-gu, Seoul 07061, Korea, Tel: +82-2-870-2496, Fax: +82-2-831-0714, E-mail: neo0224@gmail.com

실패가 발생할 수 있다⁵⁷. 따라서 노출과 관련된 위험 인자를 아는 것은 술자와 환자 모두에게 유용하다. 하지만, 현재까지 알려진 노출의 위험인자에 대한 연구는 대부분 2차원의 기성 titanium mesh에 관련된 것이며, 최근 사용되는 삼차원의 다양한 규격으로 제작되어 임플란트 본체에 단단히 고정되는 방식의 titanium mesh의 노출 원인에 관한 연구는 매우 드물다.

이에 본 연구에서는 치과 임플란트를 위한 골유도 재생술 시 사용되는 최근 방식의 titanium mesh의 노출과 관련된 위험인자를 규명하고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

본 연구는 기성 titanium mesh를 이용한 골유도 재생술을 시행한 증례에 대한 후향적 환자-대조군 연구이다. 선정기준은 2017년 12월부터 2019년 4월까지 임플란트를 식립한 환자 중, 비자립성 열개형 치조골 결손(non-self-contained dehiscence bone defect)으로 골유도 재생술을 동시에 시행하면서 titanium mesh를 사용한 경우이다. 제외기준은, 미국 마취과 학회 신체 분류 기준 3 등급 이상(ASA class III), 흡연자, 임플란트 초기 고정력이 20 Ncm 미만인 경우, 협설측 또는 협구개측의 동시 비자립성 골결손, 골유도 재생술 후 경과가 7개월 미만인 경우, 상부 보철치료가 미완료된 경우이다. 임상경력 3년 이상의 두 구강악안면외과 의사가 의무기록과 방사선 사진을 검토하며 임상적 변수들을 평가하였고, 두 의사간에 이견이 있을 경우, 충분한 토론을 통해 합의에 도달하였다.

본 연구는 서울특별시 서울대학교 보라매병원 임상연구윤리위원회의 승인 후에 진행되었으며(30-2019-129), 가장 최신의 헬싱키 선언을 준수하였다. 환자의 신상이 공개되지 않는 후향적 연구이므로, 연구대상자 동의서는 면제되었다.

1. Titanium mesh를 이용한 골유도 재생술식

수술은 구강악안면외과 전문의 1인이 모두 집도하였다. Lidocaine (Lidocaine HCl 2% injection 1:100,000 epinephrine; Huons, Seoul, Korea)을 이용한 통법의 국소마취 하에 시행하였으며, 환자의 요구에 따라 midazolam (Midazolam injection; Bukwang Pharmaceutical, Seoul, Korea) 또는 dexmedetomidine (Precedex injection; Pfizer Pharmaceutical Korea, Seoul, Korea)을 이용한 수면마취가 동시에 시행되었다. 골유도 재생술식은 PASS 원칙⁸에 입각하여 진행하였다. 우선 임플란트 식립부위에 치조정 절개 및 근심 수직 이완 절개를 가한 후, 전층 판막을 거상하였다. 임플란트 보철물의 예상 위치를 고려하여 그 위치의 한가운데에 임플란트 본체(TS III SA; Osstem, Seoul, Korea 또는 Superline; Dentium, Seoul, Korea)를 식립 하였다. 임플란트 본체를 식립한 후 확인하여, 일벽성 혹은 이벽성의 비자립성 열개형 골결손부(1-wall or 2-wall non-self-contained dehiscence bone defect)에 한해 기성 titanium mesh (Ossbuilder 2; Osstem, Seoul, Korea) 이용한 골유도 재생술을 시행하였다(Figure 1A). 결손부위 크기를 측정하여 그에 맞는 크기의 titanium mesh를 선택하여 임플란트 상부에 시적해 보고, 필요 시 mesh의 모양 조절을 한다. 골수강을 열어서 골 형

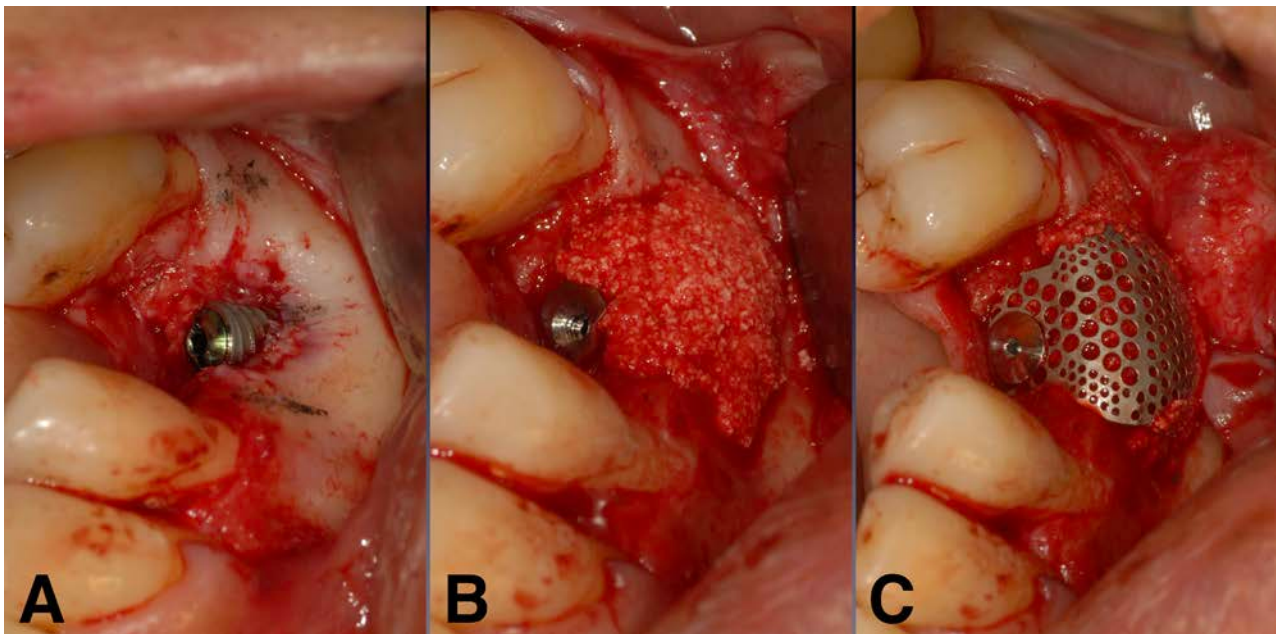


Figure 1. Guided bone regeneration procedures using pre-formed titanium mesh, (A) Buccal non-self-contained dehiscence bone defect right after fixture installation, (B) Bone graft with autogenous bone and alloplast by layering technique, (C) Insertion of titanium mesh.

성 세포들이 골이식 부위로 최대한 이동할 수 있도록 피질골 천공을 시행한다. 노출된 임플란트 나사선 부위에는 수술부위 근처에서 채취한 자가골이나 동종골(Sureoss, FDBA; Hans Biomed, Daejeon, Korea)을 이식하고, 경우에 따라 그 위에 합성골(Osteon III; Genoss, Suwon, Korea)을 피개하였다(layering technique) (Figure 1B). 이식된 골 상방에 titanium mesh를 덮고 임플란트에 고정한다(Figure 1C). 고정방법은 경우에 따라 일회법용 고정원 Healing cap 또는 이회법용 고정원 Cover cap을 사용하였다. 이회법용 고정원을 사용한 경우, 필요에 따라 titanium mesh 상방에 흡수성 차폐막(Collagen membrane; Genoss, Suwon, Korea)를 추가로 피개하였다. 장력 없는 봉합을 위해 골막 이완 절개를 시행한 후, 통법대로 봉합 후 마무리하였다. 술 후 5일간 항생제와 진통소염제를 처방하였고, 술 후 2주에 발사하였다. 골이식 부위 연조직 상방으로 임시 가철성 의치는 사용하지 않도록 하였다. 경과 관찰 기간 중 titanium mesh의 노출이 관찰되면, 우선 chlorhexidine (Hexamedin Sol 0.12%; Bukwang Pharmaceutical, Seoul, Korea)으로 노출 부위를 자주 세척하면서 경과 관찰하였고, 감염증상이 보이면 titanium mesh를 제거하였다. 양호한 치유가 진행되면, 약 4~6개월 후 titanium mesh를 제거하고 치유 지대주를 연결하였고, 이로부터 1개월 후 보철치료를 완료하였다.

2. 연구 변수

결과변수는 titanium mesh의 노출 여부였다. 예측변수는 연령, 성별, 당뇨병 유무, 임플란트 식립부위, 발치 후 즉시식립 여부, 구 개측/설측 비자립성 열개형 골결손, 사용한 임플란트의 종류 및 규격, 임플란트 시술 일회법/이회법 여부, 합성골의 사용 여부, 추가 차폐막의 사용 여부, 수평적 골 증대량이었다. 수평적 골 증대량은 수술직후와 수술 6개월에 전산화 단층촬영 영상을 통해 측정하였다(Figure 2).

3. 통계적 분석

독립된 연속형 변수에 대해서는 Kolmogorov-Smirnov 정규성 검정결과에 따라 Student T 검정 혹은 Mann-Whitney U 검정을 시행하였다. 짝지은 연속형 변수에 대해서는 Kolmogorov-Smirnov 정규성 검정결과에 따라 대응표본 T 검정 혹은 Wilcoxon 부호순위 검정을 시행하였다. 범주형 변수에 대해서는 Pearson 카이 제곱 검정 혹은 Fisher의 정확한 검정을 시행하였다. 이렇게 시행한 단변수 검정을 통해 통계적으로 유의한 변수만을 갖고 이분형 로지스틱 회귀분석을 시행하였다. 모형적합도 검정을 위해 Hosmer-Lemeshow 검정을 시행하였다. 모든 통계분석은 SPSS for windows (version 20.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하였으며, 유의 확률(P -value) 0.05 미만을 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

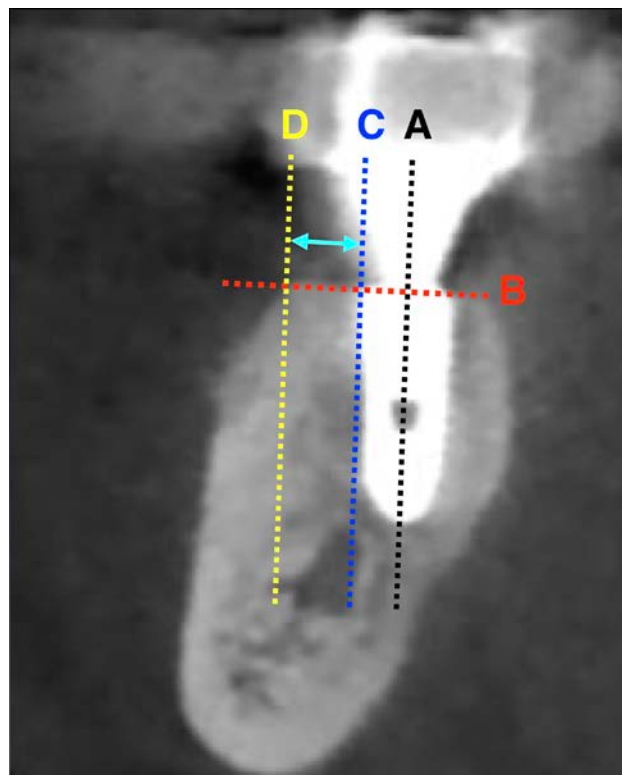


Figure 2. Measurement of the amount of horizontal bone gain. Line B is a straight line perpendicular to the fixture's long axis (line A) through its platform. Line C depicts a straight line through the buccal surface of the fixture platform parallel to line A. Line D is parallel to line A through the buccal crestal boundary at the level of line B. The distance between lines C and D is the amount of horizontal bone gain.

RESULTS

1. 일반적 특징 및 titanium mesh의 비노출/노출에 따른 군간 비교(Table 1)

총 36명의 환자에서 50개의 임플란트에 대해 50개의 titanium mesh가 사용되었다. 평균 나이 66.12 ± 9.65 세(37~90세)였고, 사용된 titanium mesh의 64%가 여성에게 사용되었다. 평균적으로 142.0 ± 20.3 일(104~184일) 뒤에 titanium mesh를 제거하고 치유 지대주를 연결하였다. 평균 경과 관찰 기간은 445.5 ± 106.3 일(206~693일)이었다. 이 중, 10개의 titanium mesh가 노출되었으며(노출율 20%), 노출시기는 수술 후 2주에서 3개월 사이였다. 노출된 10증례 중, 2 증례에서는 수술 2주후 노출되었으며, 감염 소견이 관찰되어 titanium mesh를 제거하였고, 결과적으로 골유도 재생술 자체가 실패하였다. 하지만 나머지 8증례에서는 골유도 재생술이 성공하여 최종 보철물까지 완료하였다(골유도 재생술 실패율 4%). 골이식이 성공한 48증례에서 수술직후 측정된 수평적 골 증대량은 3.082 ± 1.200 mm (1.23~6.82 mm)이었고, 수술 6개월 후 측정된 수평적 골 증대량은 2.708 ± 1.061 mm (1.00~5.48 mm)으로, 수술 6개월 후 이식한 골은 유의미한 흡수를 보였다($P < 0.001$, 대응표본

Table 1. Description of risk factors according to whether exposure of the titanium mesh occurred in guided bone generation for dental implants

Risk factors	Total (n = 50)	No exposure (n = 40)	Exposure (n = 10)	P-value
Age, years	66.12 ± 9.65	66.68 ± 9.89	63.90 ± 8.71	0.422 ¹
Male sex, n	18 (36.0%)	13 (32.5%)	5 (50.0%)	0.463 ²
Diabetes, n	4 (8.0%)	3 (7.5%)	1 (10.0%)	1.000 ²
Maxilla, n	26 (52.0%)	17 (42.5%)	9 (90.0%)	0.011 ²
Immediate installation, n	8 (16.0%)	5 (12.5%)	3 (30.0%)	0.331 ²
Palatal or lingual defect, n	7 (14.0%)	2 (5.0%)	5 (50.0%)	0.002 ²
Osstem®, n	38 (76.0%)	31 (77.5%)	7 (70.0%)	0.686 ²
Fixture diameter, mm	4.280 ± 0.455	4.288 ± 0.479	4.250 ± 0.354	0.765 ³
Non-submerged, n	10 (20.0%)	6 (15.0%)	4 (40.0%)	0.097 ²
Alloplast, n	28 (56.0%)	23 (57.5%)	5 (50.0%)	0.732 ²
Additional membrane, n	19 (38.0%)	15 (37.5%)	4 (40.0%)	1.000 ²
Horizontal bone gain, mm	3.082 ± 1.200	3.089 ± 1.236	3.045 ± 1.073	0.925 ¹

Each number indicates the number of cases or the average value for each factor. Each percentage value indicates the ratio of the total number of cases to the number of cases in each group.

Immediate installation: immediate fixture installation right after tooth extraction; Palatal or lingual defect: palatal or lingual non-self-contained dehiscence bone defect; Osstem®: Osstem® TS III fixture; Alloplast: layered bone graft using Osteon III; Additional membrane: additional use of the barrier membrane over the titanium mesh.

¹Student's t-test, ²Fisher's exact test, ³Mann-Whitney U test.

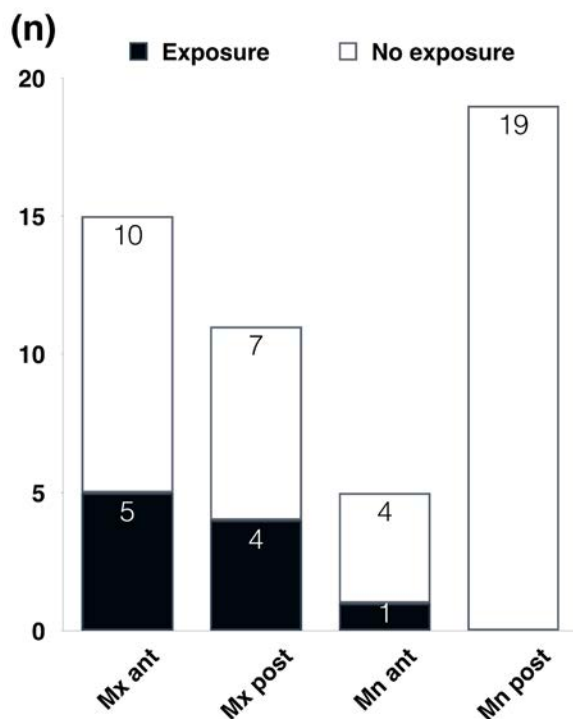


Figure 3. Comparison of cases stratified by the titanium mesh exposure per region ($P = 0.041$ by chi-square test). Mx ant: anterior maxilla; Mx post: posterior maxilla; Mn ant: anterior mandible; Mn post: posterior mandible.

T 검정). 노출되지 않은 군과 노출된 군의 평균흡수율은 각각 $11.40 \pm 7.95\%$, $17.07 \pm 12.56\%$ 로서, 노출된 군에서 더 높은 경향을 보였으나, 통계적인 유의성은 없었다($P = 0.253$, Student T 검정).

Table 2. Results of the multivariable logistic regression analysis for factors affecting the titanium mesh exposure in guided bone generation for dental implants

Risk factors	Odds ratio	95% CI	P-value
Maxilla	8.621	0.012~1.126	0.063
Palatal or lingual defect	13.276	1.759~100.210	0.012

Hosmer-Lemeshow Goodness-of-Fit Test, $P = 0.695$

CI: Confidence Interval; Palatal or lingual defect: palatal or lingual non-self-contained dehiscence bone defect.

2. 노출과 관련된 위험 인자

단변수 분석에서, 상악골에 사용된 titanium mesh에서 노출이 많았다(Figure 3). 아올리, 협측 또는 순측이 아닌, 구개측이나 설측의 비자립성 열개형 골결손이 있을 경우 노출이 더 많았다(Table 1). 이러한 두 변수만으로 다변수 분석을 시행하였을 때, 구개측 또는 설측 결손만이 노출과 유의한 관계가 있었다(Table 2).

DISCUSSION

Titanium mesh는 심하게 흡수된 치조제의 복원을 위한 골유도 재생술에서 비교적 널리 사용되는 있는 재료이다⁹. 하지만, 원치 않는 노출이 발생할 경우, 술자가 의도한 만큼의 골이식이 불가하며, 때로는 골이식 자체가 실패할 수도 있다. 따라서 노출의 위험인자에 대해 파악하는 것은 중요하다. 본 연구에서 저자들은, 임플란트 본체에 직접 고정되는 방식의, 다양한 규격으로 삼차원적으로 제조된 기성 titanium mesh의 노출 원인에 대해 규명하고자 하였다. 이에 50 증례에 대한 다변수 분석 결과, 구개측 또는 설측의 비자립성 열개형 골결손 시 노출의 위험이 컸다.

골유도 재생술에 사용되는 차폐막이 갖추어야 할 요건으로는 생체적합성(biocompatibility), 공간창출능(space-making), 선택적 세포 차단능(cell-occlusivity), 인접조직과의 통합능(tissue integration), 임상적 사용의 편리성(clinical manageability)이다¹⁰. 이 중에서 다른 차폐막과의 비교 시 titanium mesh가 우월한 것은 공간창출능으로서, 이것은 재료 자체의 물성에 기인한다. 즉, 공간유지에 충분한 정도의 견고성, 상부 연조직에 의한 변형 시에도 다시 원래의 형태로 돌아오는 탄력성, 각 골결손부 고유의 형상에 맞도록 조정 가능한 가소성을 모두 갖추고 있다¹¹. 아울러 재료의 표면은 타 차폐막과 달리 고 연마 되어 있고, 생체적합성 또한 뛰어나서 치유 과정 중 노출되어도 임상적/조직학적으로 감염을 일으키는 빈도는 크지 않다¹². 실제로 본 연구에서도 노출된 10증례중 단 두 증례에서만 감염 증상이 관찰되어 제거하였다. 아울러, 저자 등이 본 연구에서 사용한 Ossbuilder는 동 회사의 이전 제품¹³을 개선한 것으로서 매우 편리하게 임플란트 본체에 단단히 고정되도록 설계되어 있으므로, 그 임상적 사용의 편리성은 타 차폐막을 고정하는 과정보다 더 우수하였고, 그 고정 정도도 우수하여 골이식재의 안정성에 크게 기여하였다.

Titanium mesh 사용시 가장 빈번하게 겪게 되는 문제는 조기 노출이다^{7,14,15}. 이는 재료 자체의 견고성이 상부 연조직에 지속적으로 가하는 자극에 기인하며, 특히 골결손 부위에 적합 되도록 titanium mesh를 굴요 및 절단하는 과정에서 생긴 날카로운 면이 있는 경우 발생 가능하다^{11,13}. 물론 노출은 비단 titanium mesh만의 문제는 아니다. 즉, 흡수성 차폐막이나 titanium mesh 외의 비흡수성 차폐막도 노출이 발생하며, 이는 때로 심각한 골결손을 유발하기도 한다¹⁶. Garcia 등¹⁷의 메타 분석에서는, 비흡수성 차폐막의 경우 13.3~75%, 흡수성 차폐막의 경우 17.6~38.9%의 노출을 보고하였다.

Her 등¹⁸은 평면상의 titanium mesh를 굴요 및 절단하여 골유도 재생술을 시행하고 6개월후 임플란트를 식립 하였다. 이 연구에서 26%의 노출율과 100%의 골이식 성공률을 보고하였으며, 상악 골/하악골의 식립부위와 사용한 골이식재의 종류는 노출과 관련이 없었음을 보고하였다. Hartmann 등¹⁹은 삼차원 인쇄를 통한 환자 맞춤형 titanium mesh를 이용한 골유도 재생술 연구에서, 37.1%의 노출율과 97.1%의 골이식 성공률을 보고하였다. 노출된 증례에서 골이식재의 흡수가 더 많았으며, 그 흡수 정도는 흡연 및 상악동거상술과의 동시 수술 증례에서 더 많았음을 보고하였다. 하지만, 노출 정도와 연령, 성별, 흡연, 당뇨병 유무, 치주염, 연조직 표현형(phenotype), titanium mesh의 크기 및 사용 개수, 임플란트 식립 부위, 임플란트 식립 개수, 임플란트 동시 식립 여부 등과는 관련이 없었음을 보고하였다. 본 연구에서도 유사한 결과를 보였으나, 노출된 군과 비노출된 군에서 수평적 골 흡수량의 차이는 발견되지 않았다. 아울러, 노출과 관련된 유일한 인자는 순협측이 아닌 구

개/설측의 골결손이었다. 이는 순협측에 비해 구개/설측 피판의 수술 시 관리가 비교적 까다로운 것과 관련 있는 것으로 보인다. 특히 구개측 피판의 경우, 특유의 견고성으로 피판의 견인이 어려워 봉합부위에 장력이 발생할 가능성이 크고, 하방의 titanium mesh에 더 많은 부하를 가했을 가능성이 크다. 하지만 보다 명확한 기전 규명을 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서 실패한 두 증례 또한 구개측 결손에 대한 골이식 후 노출이 발생했던 증례이며, 다른 노출 증례에 비해 비교적 빠른 시기인 2주에 노출이 발생하였다. 즉, 조기 노출 시 좋은 예후를 예상할 수 있다.

현재까지 임플란트에 직접 고정되는 방식의 삼차원 형상의 titanium mesh의 노출 원인을 분석한 연구는 매우 드물다. 본 연구의 독창성은 여기서 찾을 수 있겠다. 하지만, 본 연구는 다음과 같은 한계점도 갖고 있다. 첫째, 골유도 재생술 후 경과 관찰 기간이 평균 445.5일로 비교적 짧아서, titanium mesh를 이용한 골유도 재생술의 장기적 예후 평가가 불가능하였다. 둘째, 증례수가 충분치 않아서 다변수 분석에서의 결과가 과장되었을 수 있다. 셋째, 후향적 연구라는 한계로 노출에 영향을 줄 수 있는 더 많은 요인에 대한 분석이 충분히 이루어질 수 없었다. 따라서 향후에는 보다 더 많은 증례를 포함한 전향적 장기 추적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

CONCLUSION

일벽성 혹은 이벽성의 비자립성 열개형 골결손부에 대한 골유도 재생술시, 공간유지능과 안정성이 탁월한 titanium mesh는 비교적 예지성 있는 결과를 보여주었다. 하지만, 노출이 발생하였을 경우, 추가적인 골흡수 또는 골이식 자체의 실패를 야기할 수 있는데, 이의 예방을 위해서는 일반적인 골유도 재생술의 원칙을 준수함과 아울러, 가급적 구개측 또는 설측에 비자립성 골결손 및 나사선 노출이 생기지 않도록 임플란트 본체를 식립 하는 것이 도움이 될 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Elgali I, Omar O, Dahlin C, Thomsen P. Guided bone regeneration: materials and biological mechanisms revisited. *Eur J Oral Sci* 2017; 125:315-337.
2. Hammerle CH, Karring T. Guided bone regeneration at oral implant sites. *Periodontol* 2000 1998;17:151-175.
3. Benic GI, Hammerle CH. Horizontal bone augmentation by means of guided bone regeneration. *Periodontol* 2000 2014;66:13-40.
4. Boyne PJ. Restoration of osseous defects in maxillofacial casualties. *J Am Dent Assoc* 1969;78:767-776.
5. Louis PJ, Gutta R, Said-Al-Naief N, Bartolucci AA. Reconstruction of the maxilla and mandible with particulate bone graft and titanium

- mesh for implant placement. *J Oral Maxillofac Surg* 2008;66:235-245.
6. Han SG, Jeong HL, Park JB, Kang KL. Guided bone regeneration with titanium mesh for reconstruction of resorbed anterior alveolar ridge: a case report. *J Korean Acad Osseointegration* 2018;10:31-35.
 7. Corinaldesi G, Pieri F, Sapigni L, Marchetti C. Evaluation of survival and success rates of dental implants placed at the time of or after alveolar ridge augmentation with an autogenous mandibular bone graft and titanium mesh: a 3- to 8-year retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24:1119-1128.
 8. Wang HL, Boyapati L. "PASS" principles for predictable bone regeneration. *Implant Dent* 2006;15:8-17.
 9. Yu HC, Yun PY, Kim YK. Long-term observation of guided bone regeneration using preformed titanium mesh: a case series study. *J Dent Implant Res* 2019;38:39-47.
 10. Scantlebury TV. 1982-1992: A Decade of Technology Development for Guided Tissue Regeneration. *J Periodontol* 1993;64 Suppl 11S: 1129-1137.
 11. Rakhmatia YD, Ayukawa Y, Furuhashi A, Koyano K. Current barrier membranes: titanium mesh and other membranes for guided bone regeneration in dental applications. *J Prosthodont Res* 2013;57:3-14.
 12. von Arx T, Hardt N, Wallkamm B. The TIME technique: a new method for localized alveolar ridge augmentation prior to placement of dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11:387-394.
 13. Jung GU, Jeon JY, Hwang KG, Park CJ. Preliminary evaluation of a three-dimensional, customized, and preformed titanium mesh in peri-implant alveolar bone regeneration. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2014;40:181-187.
 14. Proussaefs P, Lozada J, Kleinman A, Rohrer MD, McMillan PJ. The use of titanium mesh in conjunction with autogenous bone graft and inorganic bovine bone mineral (bio-oss) for localized alveolar ridge augmentation: a human study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:185-195.
 15. Rocuzzo M, Ramieri G, Spada MC, Bianchi SD, Berrone S. Vertical alveolar ridge augmentation by means of a titanium mesh and autogenous bone grafts. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:73-81.
 16. Eskan MA, Girouard ME, Morton D, Greenwell H. The effect of membrane exposure on lateral ridge augmentation: a case-controlled study. *Int J Implant Dent* 2017;3:26-31.
 17. Garcia J, Dodge A, Luepke P, Wang HL, Kapila Y, Lin GH. Effect of membrane exposure on guided bone regeneration: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2018;29:328-338.
 18. Her S, Kang T, Fien MJ. Titanium mesh as an alternative to a membrane for ridge augmentation. *J Oral Maxillofac Surg* 2012;70:803-810.
 19. Hartmann A, Hildebrandt H, Schmohl JU, Kammerer PW. Evaluation of risk parameters in bone regeneration using a customized titanium mesh: results of a clinical study. *Implant Dent* 2019;1-8 (Epub ahead of print).