

두개안면골 결손부 재건에 있어서 티타늄 그물판의 임상적 유용성

서영민 · 정승문

고신대학교 복음병원 성형외과학교실

Clinical Usefulness of Titanium Mesh in Reconstruction of the Craniofacial Bone Defects

Yeong Min Seo, M.D., Seung Moon Chung, M.D.

Department of Plastic and Reconstructive Surgery, College of Medicine, Kosin University, Busan, Korea

Purpose: Reconstruction of the craniofacial defects can be carried out with autogenous tissues, allogenic implants, or alloplastic materials. Titanium mesh systems have been used for bony reconstruction in non load-bearing areas. They offer several advantages: immediate availability without any donor site morbidity, easy handling, stable 3-D reconstruction, and low susceptibility to infection. The aim of this study is to evaluate the usefulness and complications of titanium mesh system in the reconstruction of the craniofacial defects.

Methods: From Jan. 2000, to Dec. 2004, we performed reconstruction of craniofacial bone defects in 21 patients who had benign or malignant tumor and fracture events in the cranium, orbit, nasal bone, maxilla, zygoma and the mandible. The size of the defects ranged from 1.0×1.5 cm to 12×10 cm. Two different mesh systems, micro-titanium augmentation mesh and dynamic mesh was used for bony reconstruction in non load-bearing areas. The patients were evaluated from 1 to 4 yrs clinically and radiographically with a mean follow up period of 1.5 yrs.

Results: There were no serious complications, including wound infection, foreign body reaction, exposures or loos of the mesh, central infection and pathologic findings of bone around mesh exception of one patient, who had expired of skull base tumor recurrence. Long-term stability of the reconstructions and the overall functional and aesthetic outcome was excellent.

Received September 23, 2006
Revised August 1, 2006

Address Correspondence: Seung Moon Chung, M.D., Department of Plastic and Reconstructive Surgery, College of Medicine, Kosin University, 34 Annam-dong, Seo-gu, Busan 602-702, Korea. Tel: 051) 990-6131 / Fax: 051) 242-2349 / E-mail: smchung0@gmail.com

Conclusion: Our experiences demonstrate that the Titanium mesh system is a relatively safe and efficient method in the craniofacial reconstruction and have broadens our choices of therapeutic procedures in the craniomaxillofacial surgery.

Key Words: Craniofacial bone defects, Titanium mesh

I. 서론

두개안면골의 결함을 복구하기 위해서 자가조직(두개골, 장골, 장골 능선), 동종 이식물(AAA-bone, 동결 건조된 연골), 이물성형물(methylacrylate, hydroxyapatite, titanium mesh) 등이 주로 사용되어진다. 자가골 이식이 우선적으로 사용되어질 수 있으나 공여부 문제, 골 흡수의 문제, 만족할 만한 모양으로 조작하기 어려우며, 특히, 결손부각 경우에는 공여부에서 제공할 수 있는 한계가 있기에 이물질을 사용해야만 한다. Titanium mesh는 급성 외상, 종양 제거, 염증성 질환 등으로 생긴, 하중을 받지 않는 부위의 골 결손부 재건에 주로 이용되어지며, 불규칙한 윤곽의 교정에도 사용되어진다. Titanium mesh를 사용할 경우 가벼운 무게, 낮은 열 전기 전도도, 원하는 모양으로 조작이 가능한 점, 뛰어난 생물학적 적합성, CT 혹은 MRI에 산란성 영상을 나타내지 않으며 감염에 대한 감수성이 낮은 장점을 가지며 다양한 부위에 사용가능 하며 미용적, 기능적 재건을 위해서 자가조직 및 다른 이물질과 더불어 사용되는 것이 가능하다.

저자들은 두개안면골 골절 및 두개안면부 종양 환자의 상악부, 안와부, 전두부, 측두부에서의 골절 부위 및 종양 제거 후 결손부를 Titanium mesh를 이용하여 재건한 후 미용적으로나 기능적으로 적절한 재건이 이루어지는가를 고찰하고 장기간 추적관찰 후 합병증의 유무를 파악하여 Titanium mesh가 두개안면골 결손의 재건에 사용되어지는 경우 적합성과 유용성을 가지고 있는가를 연구하고자 한다.

II. 재료 및 방법

2000년 1월에서 2004년 12월까지 두개안면부의 외상이

나 종양의 제거로 인한 두개안면골 결함을 가진 21명의 환자를 대상으로 시행하였다. 남녀 비는 13:8, 평균연령은 40.6세(23 - 68세)였으며 두개저 종양(skull base tumor)환자 3명, 섬유성이형성증(fibrous dysplasia)환자 3명, 골종(osteoma)환자 2명, 전이성 두피암(metastatic scalp tumor)환자 1명, 두개안면골 골절 환자 13명에서 각각 시행되었다. 골 결손의 부위는 전두부 결손 7례, 전두 두정부 결손

4례, 안와부 결손 12례, 비배부 1례, 상악부 6례였으며 골 결손부의 크기는 1 × 1.5 cm부터 12 × 10 cm까지 다양하였으며 결손부의 크기가 25 cm² 이하이거나 큰 힘을 받지 않는 부위에는 0.3 mm dynamic mesh나 0.1 mm의 micro-titanium augmentation mesh(M-TAM)(from Howmedia Leibinger GmbH & Co. KG, Freiburg, Germany)을 사용하였으며 결손부 크기가 25 cm² 이상이거나 큰 힘을 지탱하

Table 1. Characteristics of Patients

No.	Age/Sex	Diagnosis	Location	Size	Operation	Combined method
1	23/F	Fibrous dysplasia	Maxilla defect	3 × 3 cm(Rt.) 3 × 4 cm(Lt.)	Dynamic mesh M-TAM	None
2	40/M	Osteoma, meningioma	Fronto-parietal skull defect Orbital roof defect	10 × 9 cm 3 × 2 cm	Dynamic mesh M-TAM	Bone source [®]
3	43/M	Mesenchymal tumor	Ant. skull base defect	5 × 6 cm	Dynamic mesh	Galea-pericranial flap
4	45/F	Fracture	Frontal skull defect Orbital roof defect	4 × 4 cm 3 × 3 cm	Dynamic mesh M-TAM	None
5	68/M	Papillary Ca.	Ant. skull base defect Frontal skull defect	4 × 5 cm 3 × 4 cm	Dynamic mesh Dynamic mesh	Calvarial bone graft Galea-pericranial flap
6	37/F	Fracture	Frontal skull defect Orbital floor defect	3 × 4 cm 1 × 1.5 cm	Dynamic mesh M-TAM	None
7	40/F	Fracture	Maxilla defect	2.5 × 3 cm	Dynamic mesh	None
8	24/M	Fracture	Frontal skull defect Orbital floor defect	4 × 5 cm 1.5 × 1.5 cm	Dynamic mesh M-TAM	Bone source [®]
9	37/F	Fracture	Orbital floor defect	1 × 2 cm	M-TAM	Bone source [®]
10	50/M	Osteoma	Frono-parietal skull defect	12 × 10 cm	Dynamic mesh	Calvarial bone graft Bone source [®]
11	41/M	Fracture	Frontal skull defect	5 × 6 cm	Dynamic mesh	none
12	30/M	Fracture	Orbital rim defect	2 × 1 cm	Dynamic mesh	Bone source [®]
13	40/F	Fracture	Orbital floor defect	1 × 2 cm	M-TAM	None
14	24/M	Fracture	Maxilla defect Orbital floor defect	3 × 3 cm 1.5 × 1.5 cm	Dynamic mesh M-TAM	None
15	41/M	Fracture	Frontal skull defect	4 × 6 cm	Dynamic mesh	None
16	37/F	Fracture	Frontal skull defect Orbital rim defect Orbital floor defect Nasal roof defect	3 × 5 cm 2 × 1 cm 1 × 1.5 cm 1 × 1.5 cm	Dynamic mesh Dynamic mesh M-TAM M-TAM	None
17	54/M	Fibrous dyplasia	Fronto-parietal skull defect	10 × 11 cm	Dynamic mesh	None
18	43/F	Macillary Ca., undifferentiated type	Ant. skull base defect Orbital wall & floor defect Maxilla defect	4 × 4 cm 3 × 3 cm 3 × 3 cm	Dynamic mesh M-TAM Dynamic mesh	Galea-pericranial flap
19	27/M	Fracture	Maxilla defect	3 × 2 cm	Dynamic mesh	None
20	52/M	Fibrous dysplasia	Maxilla defect	3 × 4 cm	Dynamic mesh	None
21	58/M	Metastatic scalp tumor	Fronto-parietal skull defect	9 × 8 cm	Dynamic mesh	Bone source [®]

는 부위에는 주로 0.6 mm dynamic mesh(from Howmedia Leibinger GmbH & Co. KG, Freiburg, Germany)를 사용하였으며 1.0-2.3 mm의 고정나사를 이용하여 주위 골에 고정하였다. 정확한 윤곽의 교정 및 보강을 위하여 자가골, BoneSource®, galea-pericranial flap의 병용이 이루어졌다 (Table 1).

증례 1

6년간의 코 막힘과 간헐적인 비 출혈을 주소로 내원한 23세 여자 환자로 내원 당시 검사한 내시경 상 비강이 좁아져 있으며 구취가 동반되었고 양측 상악의 비대가 관찰되었다. 상악의 비대는 좌측이 우측보다 심했고 13세 때부터 발생하기 시작하였으며 섬유성이형성증으로 진단받았다. 방사선학적 소견 상 단순 엑스선 촬영에서 양측 상악에 걸쳐 확장되는 골경화성이고 전산화단층촬영 상 양측 상악동과 비강을 포함하는 골경화성 병변이 관찰된다. 변형 웨버 퍼거슨 절개선 작도(modified Weber Ferguson incision design) 후 경전두비부 접근법(transnasomaxillary approach)을 시행하여 병변 부위를 완전히 드러낸 뒤 양측 상악동 및 비강을 채우고 있는 종양을 제거하고 그 결손부를 0.6 mm dynamic mesh를 이용하여 재건한 뒤

M-TAM을 이용하여 보강하였다. 술후 전산화단층촬영에서 상악동전벽이 dynamic mesh에 의해서 정상적 굴곡을 유지하면서 재건된 모습을 보여주고 있다. 2년간의 추적관찰 후에도 수술 부위의 함몰, 변형, 감염 등의 특별한 합병증 없이 미용적, 기능적 재건이 유지되고 있다(Fig. 1).

증례 2

3년간의 우측 안구 돌출증, 복시를 주소로 내원한 40세 남자 환자로 골종 및 수막종으로 진단 받았습니다. 전산화단층촬영에서 종괴가 우측 전두두정부와 우측 안와의 외벽 및 상벽에서 관찰되고 있으며 우측 안구가 종괴에 의해 눌리고 안와강이 좁아져 있다. 양쪽 관상절개를 통하여 전두두정부의 병변을 노출시킨 뒤 골 병변을 제거한 뒤 골종으로 두터워진 안와상벽을 제거하였다. 안와 상벽 결손부는 M-TAM을 이용하여 굴곡에 맞춰 티타늄판(plate)과 고정나사(screw)를 이용하여 주위 골에 고정하였으며 10 × 9 cm의 전두두정부 결손은 0.6 mm dynamic mesh를 이용하여 2.0 mm의 고정나사로 주위 골에 고정하였다. Titanium mesh의 강도 유지 및 전두두정부의 미용적 윤곽을 유지하기 위하여 BoneSource® 25 g을 이용하여 표면을 매끄럽게 복원하였다. 술전 전산화단층촬영 상 전두두정부의 골종과 우측 안구를 누르고 있던 두터워진 안와 상벽이 제거되고 술후

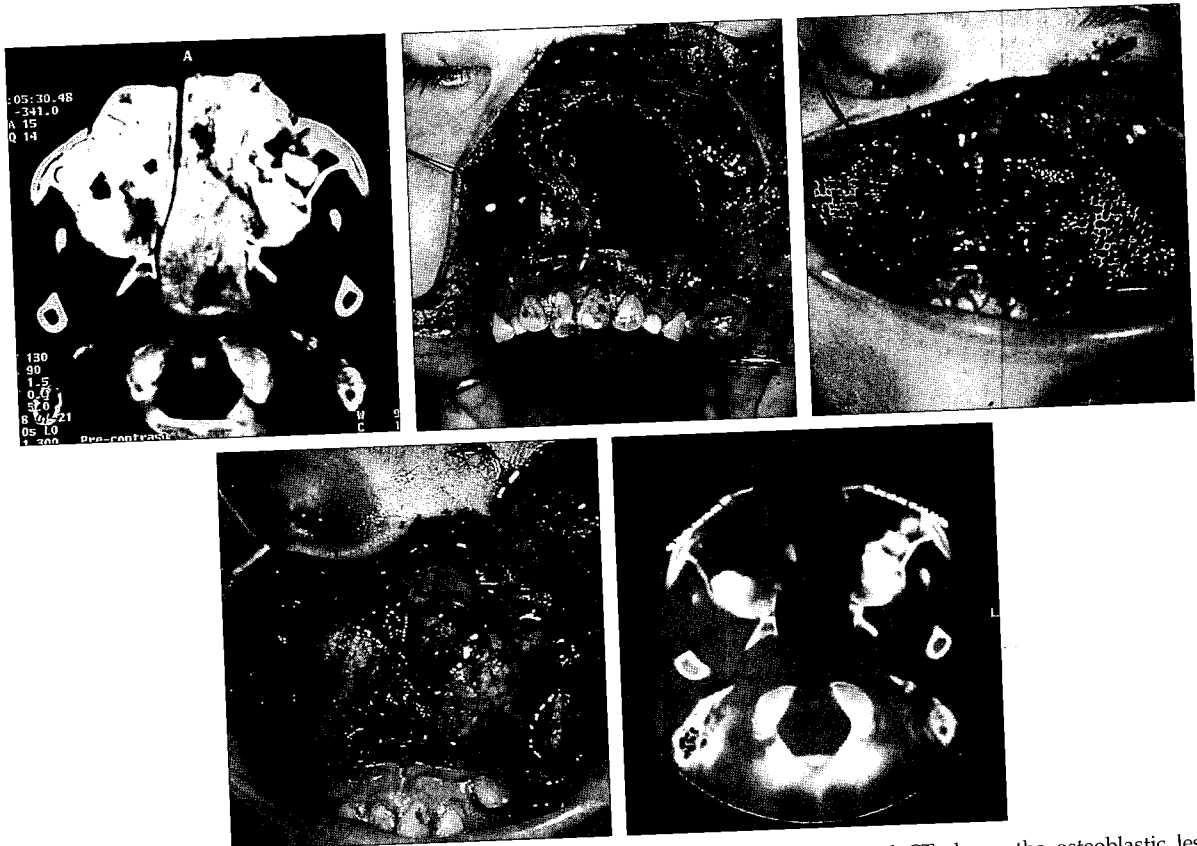


Fig. 1. Case 1. Treatment of patient with maxilla defect. (Above, left) Preoperative axial CT shows the osteoblastic lesions in both maxillary sinuses and nasal cavity. (Above, center) Intraoperative view demonstrating the extended of the tumor. (Above, right) Intraoperative view shows tumor is completely removed. (Below, left) Maxillary sinus was reconstructed by Dynamic mesh. (Below, right) Postoperative axial CT scan shows well-defined contour of the maxilla.

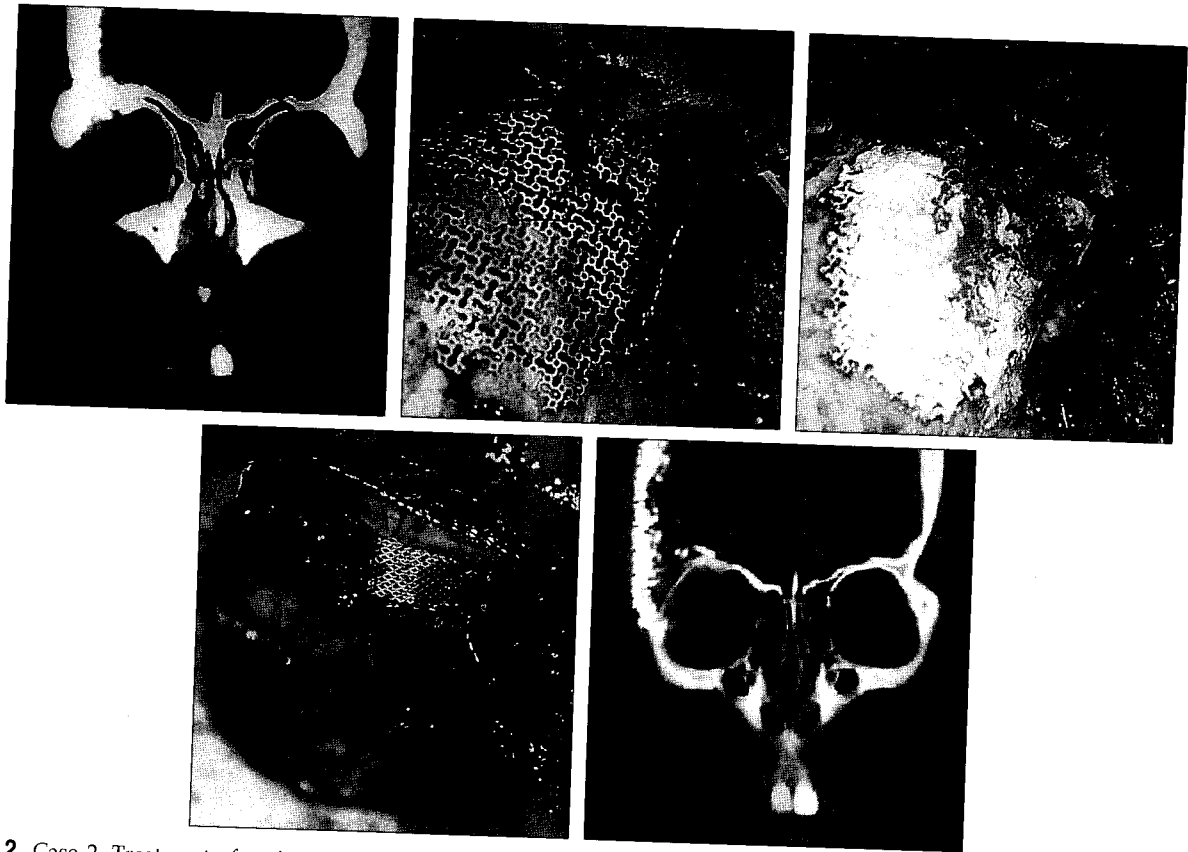


Fig. 2. Case 2. Treatment of patient with fronto-parietal skull defect. (Above, left) Preoperative coronal CT scan shows mass invaded Rt. orbit wall and frontal bone and compressed Rt. orbit and Rt. orbital cavity was narrowed. (Above, center) The bony defect of superior orbital wall was reconstructed by MTM which was fixed by titanium screw. (Above, right) Frontal bone defect sized $10 \times 9 \text{ cm}^2$ was reconstructed by Dynamic mesh. (Below, left) Hydroxyapatite(BoneSource[®]) has been applied to titanium mesh scaffold. (Below, right) Postoperative CT scan shows reconstruction of orbital roof and fronto-parietal area.

M-TAM, dynamic mesh, BoneSource[®]로 재건되어 정상적인 전두두정부 윤곽을 유지하고 있으며 좁아졌던 우측 안와강이 넓어진 모습을 보이고 있다. 1년 6개월간의 추적관찰 뒤에도 별다른 합병증 없이 전두두정부의 윤곽이 유지되고 술전에 있었던 안구 돌출이 개선된 모습을 보여주고 있다(Fig. 2).

증례 3

수개월간의 두통, 안구 돌출증, 복시를 주소로 내원한 43세 남자 환자로 중간엽 종양으로 진단 받았으며 전산화단층촬영에서 양측 비강, 사골동, 전두동까지 확장하고 좌측 구후부(retrobulbar area)까지 침범한 연부조직 종괴가 관찰된다. 변형 웨버 퍼거슨 절개선 작도 후 접근 방식은 제한적 양측 경전두비부 접근(limited bilateral transfrontonasal approach)을 하였으며 전두비골 단위(frontonasal unit)로 절골술을 가한 후 충분한 시야를 확보하여 골절편을 분리, 중앙 부위를 노출시켜 전 적출(en-bloc removal)하였으며, 분리된 골 절편을 고정한 후 경막 결손은 직접 봉합과 파이버린글루(fibrin glue)로 막았고 골 결손부는 0.3 mm dynamic mesh와 2.0 mm 고정 나사로 재건한 후 두개골막 피판(pericranial flap)으로 덮어 보강하여 비강과 두개내의 교통을 차단하였으며 절개선을 봉합하였다(Fig. 3).

증례 4

45세 여자 환자로 둔기에 의한 외상으로 인하여 뇌 경막하 출혈, 전두동 전·후벽의 전위성 분쇄골절 및 전두동 전벽 및 안와벽 결손, 비전두관 손상 그리고 뇌 척수액의 유출이 있어 뇌 경막하 출혈을 제거하고 뇌 경막을 봉합한 후 전두동 후벽을 제거하고 전벽 및 하벽의 점막을 모두 제거한 후 hydroxyapatite를 이용하여 비 전두관을 막은 후 두개내외로의 교통을 막기 위하여 두개골막피판을 이용하여 보강하였으며 M-TAM으로 안와 상벽 재건하고 전두동 전벽을 dynamic mesh를 이용하여 재건하여 두개강화가 이루어졌다. 술후 3개월째 시행한 전산화단층촬영(axial computed tomography, CT)에서 양측 안와 상벽 및 전두부가 titanium mesh에 의해 재건된 모습을 보여주고 있으며 뇌 척수액 비루, 두개 내 농양, 전두골 골수염 등의 합병증은 관찰되지 않았으며 술전 외상에 의한 전두부의 함몰도 교정되어 술후 2년째까지 변형의 소견은 보이지 않았다(Fig. 4).

III. 결 과

두개안면부에 외상이나 양성 및 악성종양의 제거로 인한 두개안면골 결함을 가진 21명의 환자를 대상으로

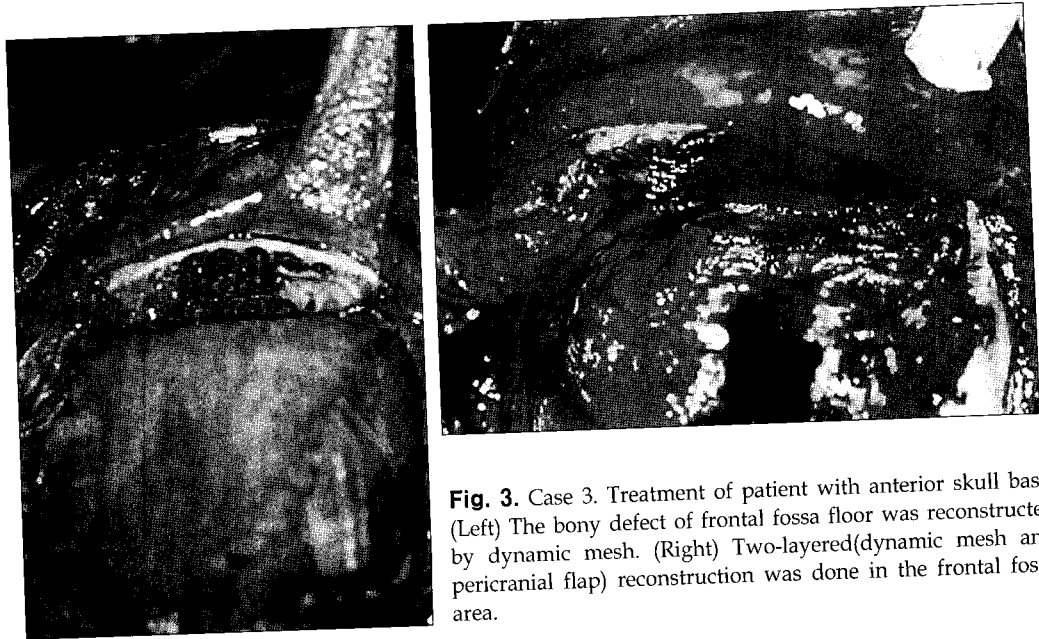


Fig. 3. Case 3. Treatment of patient with anterior skull base. (Left) The bony defect of frontal fossa floor was reconstructed by dynamic mesh. (Right) Two-layered(dynamic mesh and pericranial flap) reconstruction was done in the frontal fossa area.

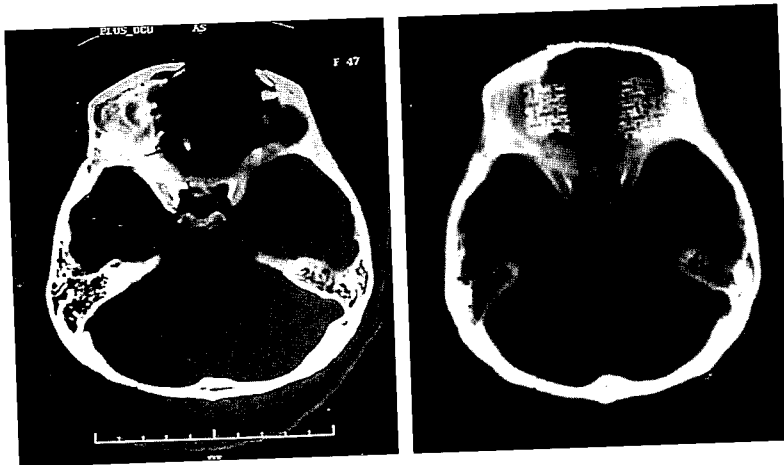


Fig. 4. Case 4. Reconstruction of anterior wall of frontal sinus in cranialization. (Left) Pre-operative coronal CT scan shows displacement of anterior and posterior tables and partial bony defect. (Right) Postoperative axial CT scan shows reconstruction of orbital roof and anterior wall and cranialization of frontal sinus.

Titanium mesh를 이용하여 재건하였으며 방사선학적 검사 및 이학적 검사를 통하여 평균 1.5년(1-4년)의 추적관찰하였다. 추적관찰 기간 중 미분화된 상피 세포암의 재발로 인한 사망 1례를 제외하고는 수술부위의 함몰이나 변형, 감염으로 인한 그물판의 제거, 이물반응, 감각 이상 등의 합병증은 관찰되지 않았으며 환자의 만족도 또한 높았다. 술후 시행한 방사선 검사 상, 고정판의 영상을 확인할 수 있었으며 산란 효과도 나타나지 않았으며 그물판의 변형 및 고정된 주위 골의 병적 소견은 관찰되지 않았다.

IV. 고 찰

두개안면골 대체 물질이 가져야할 조건으로 생체 적합성, 결손부에 쉽고 정확히 모양 조작이 되어질 수 있는 적응성, 낮은 국소 감염률, 만족할 만한 기계적 강도, 무제한

적인 사용 등을 들 수 있다. 자가골은 예측불허의 골 흡수가 일어나거나 윤곽의 불규칙화가 일어나는 단점이 있다.¹ Polymethylmethacrylate(PMMA)는 충격에 약하고 노출이 잘되며 제거가 힘든 단점이 있다. Hydroxyapatite paste는 정상 골과 잘 결합하여 골화할 수 있는 성질이 있고 쉽게 모양을 만들 수 있으며 접착제 같은 경도 때문에 작은(< 25 cm²) 두개골 결손부에 적합하며 쉽게 적용할 수 있고 미용적 윤곽 교정에 유리하나² 수주 후 이동할 수 있으며 수술 부위에 수분이 있을 경우 굳기 힘들며 골공 저항성이 낮으며³ 장력이 피질골보다 작으며 부서지기 쉽다.⁴

Titanium mesh system(MTM, dynamic mesh)은 화학적으로 칼슘과 유사하고 골 유합(osteointegration)의 과정을 거치기에 분자 수준에서 섬유조직의 개입 없이 주위 골에 결합하기에 아주 우수한 생물학적 적합성을 가지며 다양한 부위의 재건(두개안면부, 안와부, 동 결손, 분쇄 골절)

에 이용되어 질 수 있고, 자가골이나 연골의 이식과 달리 공여부 결함 없이 즉시 재건이 가능하며, 조작이 쉬우며 다른 자가 물질과 함께 사용되어 질 수 있으며 낮은 감염률과 CT나 MRI에 산란을 나타내지 않는 장점들이 있으며 분쇄 골절 시 즉시 재건이나 자가골과 같이 사용하여 불규칙한 윤곽의 재건에 사용되어지고 있다.⁵

증례 1에서의 경우와 같이 상악벽 결손의 재건에 있어서 상악동내로 연부조직이 함몰되는 것을 방지하고 공기의 유통을 유지하는 등 상악동을 보존하는 것과 안면윤곽을 유지하는 것이 중요하다. 상악 버팀벽(maxillary buttress)의 유지는 중안면부의 함몰 또는 증가, 이차적 변형을 방지한다. 이분 두개골 이식(split calvarial bone graft)은 주위 조직의 혈행이 감소된 경우 예측 불허의 골 흡수가 있을 수 있고 한 조각으로 채취 시 깨지기 쉬운 성질 때문에 최대 2.5 × 4.0 cm까지만 채취할 수 있는 단점이 있어⁶ 증례 1과 같이 상악 버팀벽의 재건이 필요한 경우 Titanium mesh가 이분 두개골 이식 보다 더 적절하다고 생각되어진다. 또한 상악벽에 재건된 titanium mesh로 약술 후 3개월경에 연부조직이 자라 들어가며 조직학적 소견상 호흡 상피, goblet 세포 및 편평상피화생(squamous metaplasia)으로 재상피화가 되는 것이 관찰되며 편평상피화생은 titanium mesh 자체의 자극과 mesh와 상악동과의 교통으로 인한 지속적인 균의 노출 및 자극에 의한 만성 염증반응에 기인한다.⁷ 이러한 titanium의 연부조직에의 적합성으로 인하여 충분히 상악동의 공기흐름을 유지할 수 있을 것으로 사료되어진다.

증례 2에서의 경우와 같이 두개골의 큰 결손부의 재건에 있어서 Titanium mesh와 hydroxyapatite paste(bone source[®])를 병용함으로써 자가골만 이식 시 올 수 있는 단점을 보완하는 것과 동시에 titanium mesh가 hydroxyapatite paste에 뼈대 역할을 하여 낮은 장력과 깨지기 쉬운 성질을 극복하여 시간이 지나도 정확한 3차원적인 윤곽을 유지하도록 한다. Titanium mesh와 hydroxyapatite paste 병용 시 감염률이 22.2%라는 보고도 있으나,² 저자들의 경우 감염으로 인한 이물질을 제거하는 사례는 없었다.

증례 3에서의 경우처럼 종양의 제거, 감염성 질환, 외상에 의한 전두개저부의 결손 시 두개 내외 오염된 부비강을 분리하고 지속적인 뇌 척수액의 유출을 예방하기 위하여 전두와 바닥(frontal fossa floor)의 복구가 필요하다. 이러한 전두와 바닥의 복구는 일차적으로 두개골막 피판이 이용되어져 왔으나 뇌수막종을 예방하고 장기간의 생존률을 보장하기 위해서는 골 이식이나 금속판(metallic mesh)을 이용하여 더욱 견고한 고정이 필요하다.⁸ 저자들은 전두개저에 생긴 종양을 제거한 후 두개내외로의 교통을 막기 위해서 Titanium mesh를 전두골에 고정한 뒤 두개골막 피판

을 그 위에 덮은 후 접어서 전두엽 경막(dura)에 봉합하여 더욱 견고히 전두와 바닥을 복구하였다. 전두개저의 복구에 있어서 두개골막 피판과 titanium mesh로 두층의 재건이 이루어지면 mesh가 비강으로 노출되는 사례가 있어 더욱더 견고하면서 혈행을 좋게 하기 위하여 세층(두개골막 피판, titanium mesh, 골이식)의 재건이 필요하다는 보고도 있으나⁹ 저자들이 경험한 두층의 재건이 이루어진 사례에서는 뇌 척수액의 유출, 상행성 감염, 이물질의 노출 및 이로 인한 제거의 사례는 없었다. 두개골막의 채취 시 최대한 혈행을 보존하고 정확한 위치에 덮어두는 것과 두개골막을 경막에 세심하게 봉합시킴으로 인해서 이러한 합병증은 최소화 될 수 있다.

저자들이 시행한 전두동의 두개강화(cranialization) 시 전벽의 재건에 있어서 결손부의 크기가 25 cm² 이상인 경우, 전두골에 발생한 골종양인 경우, 분쇄골절시 골편을 사용할 수 없는 경우에 Titanium mesh를 이용하여 재건하였다. 증례 4의 경우와 같이 전두동 전 후벽이 모두 골절이 있고 뇌 척수액 유출이 있는 경우 전두동의 두개강화가 이루어진 후 전두동 전벽의 재건이 Titanium mesh를 이용하여 재건 한 경우 합병증 없이 술 후 미용적 결과도 우수하다는 보고도 있다.¹⁰

방사선 치료 후나 심하게 피부조직이 손상을 받은 경우는 titanium mesh를 사용할 수 없다.⁵ 이전에 방사선 치료(> 60 Gy)를 받았거나 두개골절골술을 시행받은 경우, 부분적 전두엽 절제술을 시행받은 경우는 titanium mesh로 재건한 경우 감염률이 높다는 보고가 있다.¹¹ 저자들의 경우, 종양 제거 후 titanium mesh로 재건한 경우 술 후 방사선 치료를 시행하여 종양 환자에게 있어서 titanium mesh로 인한 감염은 찾아 볼 수 없었다. 또한 감염과 더불어 부적절한 titanium mesh의 고정은 titanium mesh의 골 유합(osseointegration)을 방해하기에⁷ 견고하고 확실한 고정은 합병증을 줄이는데 중요한 역할을 한다.

V. 결 론

두개안면부 외상이나 종양의 환자에 있어서 골절 부위 및 종양 제거 후 골 결손부의 재건에 이용되어지는 titanium mesh는 강한 강도를 지니면서 원하는 모양으로 조작이 가능하고 뛰어난 생물학적 적합성을 지니고 감염에 대한 감수성이 낮고 장기간의 추적관찰로도 변형이나 주위골의 병적 소견 없이 강도를 유지하였다. 더욱이 미용적 기능적 재건을 위해서 자가골 및 다른 이물질과 병용이 가능하기에 다양한 부위에 다양한 목적으로 사용되어질 수 있는 골 대체 물질이라고 생각되어진다.

REFERENCES

1. Lee C, Antonyshyn OM, Forrest CR: Cranioplasty: indications, technique, and early results of autogenous split skull cranial vault reconstruction. *J Craniomaxillofac Surg* 23: 133, 1995
2. Durham SR McComb JG, Levy ML: Correction of large(> 25 cm²) cranial defects with "reinforced" hydroxyapatite cement: technique and complications. *Neurosurgery* 52: 842, 2003
3. Costantino PD, Friederman CD, Lane A: Synthetic biomaterials in facial plastic and reconstructive surgery. *Facial Plast Surg* 9: 1, 1993
4. Ducic Y: Titanium mesh and hydroxyapatite cement cranioplasty: a report of 20 cases. *J Oral Maxillofac Surg* 60: 272, 2002
5. Kuttnerberger JJ, Hardt N: Long-term results following reconstruction of craniofacial defects with titanium micro-mesh systems. *J Craniomaxillofac Surg* 29: 75, 2001
6. Hunter D, Baker S, Sobol SM: Split calvarial grafts in maxillofacial reconstruction. *Otolaryngol Head Neck Surg* 102: 345, 1990
7. Schubert W, Gear AJ, Lee C, Hilger PA, Haus E, Migliori MR, Mann DA, Benjamin CI: Incorporation of titanium mesh in orbital and midface reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 110: 1022, 2002
8. Badie B, Preston JK, Hartig GK: Use of titanium mesh for reconstruction of large anterior cranial base defects. *J Neurosurg* 93: 711, 2000
9. Sinha UK, Johnson TE, Crockett D, Vadapalli S, Gruen P: Three-layer reconstruction for large defects of the anterior skull base. *Laryngoscope* 112: 424, 2002
10. Lakhani RS, Shibuya TY, Mathog RH, Marks SC, Burgio DL, Yoo GH: Titanium mesh repair of the severely comminuted frontal sinus fracture. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 127: 665, 2001
11. Nibu KI, Sasaki T, Kawahara N, Sugawara M, Nakatsuka T, Yamada A: Complications of craniofacial surgery for tumors involving the anterior cranial base. *Neurosurgery* 42: 455, 1998