

신속 조형 모델을 이용한 안와바닥 골절 정복술

김혜영 · 오득영 · 이우성 · 문석호 · 서제원 · 이중호 · 이종원 · 안상태

가톨릭대학교 의과대학 성형외과교실

Effective Reconstruction of Extensive Orbital Floor Fractures Using Rapid Prototyping Model

Hye Young Kim, M.D., Deuk Young Oh, M.D.,
Woo Sung Lee, M.D., Suk Ho Moon, M.D.,
Je Won Seo, M.D., Jung Ho Lee, M.D.,
Jong Won Rhie, M.D., Sang Tae Ahn, M.D.

Department of Plastic Surgery, College of Medicine, Catholic University of Korea, Seoul, Korea

Purpose: Orbital bone is one of the most complex bones in the human body. When the patient has a fracture of the orbital bone, it is difficult for the surgeon to restore the fractured orbital bone to normal anatomic curvature because the orbital bone has complex curvature. We developed a rapid prototyping model based on a mirror image of the patient's 3D-CT (3 dimensional computed tomography) for accurate reduction of the fractured orbital wall.

Methods: A total of 7 cases of large orbital wall fracture recieved absorbable plate prefabrication using rapid prototyping model during surgery and had the manufactured plate inserted in the fracture site.

Results: There was no significant postoperative complication. One patient had persistent diplopia, but it was resolved completely after 5 weeks. Enophthalmos was improved in all patients.

Conclusion: With long term follow-up, this new method of orbital wall reduction proved to be accurate, efficient and cost-effective, and we recommend this method for difficult large orbital wall fracture operations.

Key words: Orbital fractures, Absorbable implants, Computer-aided design, Computer simulation

I. 서 론

안면골은 인체에서 가장 복잡한 구조의 형태를 갖고 있

Received July 6, 2010
Revised July 30, 2010
Accepted August 10, 2010

Address Correspondence: Deuk Young Oh, M.D., Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Seoul St. Mary's Hospital, 505 Banpo-dong, Seocho-gu, Seoul 137-701, Korea. Tel: (02) 2258-2840/Fax: (02) 594-7230/E-mail: ohdeuk1234@hanmail.net

다.¹ 그 중 안와골은 총 7개의 뼈가 모여서 이루어지는 소켓형 구조로 일정한 형태를 갖고 있지 않는 것이 특징이다.² 특히 골절이 많이 일어나는 안와의 하면과 내측면은 정상 구조 자체가 복잡하고 많은 굴절면이 있기 때문에 다른 뼈의 골절과 달리 골절면만으로 손상 전 정상 안와 형태의 정확한 예측이 불가능하다. 또한 가능한 최소한의 절개로 안와를 노출시켜야 하고 안구나 근육 등의 안와 내 구조물에 의하여 수술 시야가 좁아 수술 중에 정확한 골절면의 크기 및 골절 이전의 상태를 파악하는 데에 많은 어려움이 있다. 이러한 경우에 골절 이전의 안와의 굴곡 형태를 정확히 파악하지 못하여 과교정이나 저교정이 될 수 있고 그로 인하여 안구돌출(exophthalmos)이나 함몰(enophthalmos)과 같은 장기적인 변형을 초래할 수 있다.^{3,4} 따라서 수술 전 정상적인 안와 구조와 골절 부위 정도에 대한 정확한 이해가 반드시 필요하다. 저자들은 큰 크기의 안와골절이 있는 환자에 대하여 거울 이미지(mirror-image)를 적용한 신속 조형 모델(rapid prototyping model)을 이용하여 삽입할 흡수성 인공보형물의 윤곽을 정확히 예측, 적용하여 성공적인 관혈적 정복술을 시행할 수 있었기에 이를 보고하는 바이다.

II. 재료 및 방법

2007년부터 2008년까지 본원에 내원한 안와골절 환자 중에서 안구 손상 및 다른 부위의 골절이 동반되지 않으면서 안와바닥의 골절면 크기가 2.5 cm²이 넘는 환자 7명에 대하여 본 술기를 시행하였다. 안와 골절의 진단은 이학적 검사 및 CT를 통해 확진하였다. 수술 전 3차원 전산화단층촬영(General Electorics, 120 kVp, 640 mA, 0.6 mm section)을 시행하였으며 이 결과를 거울이미지로 좌우를 뒤집는 방식을 이용하여 환측이 정상측으로, 정상측이 환측으로 각각 변환되게 재구성 하였다(Fig. 1). 재구성된 이미지를 바탕으로 Mimics[®] (Materialise's Interactive Medical Image Control System, Materialise, Belgium)와 3D printer (Z printer 510 Professional, Z Corp., USA)를 이용해 복합전분(zp 14 powder, Z Corp., USA)을 사용하여 모형을 제작하였고(Fig. 2), 이 과정에 총 3시간 30분 정도가 소요되었

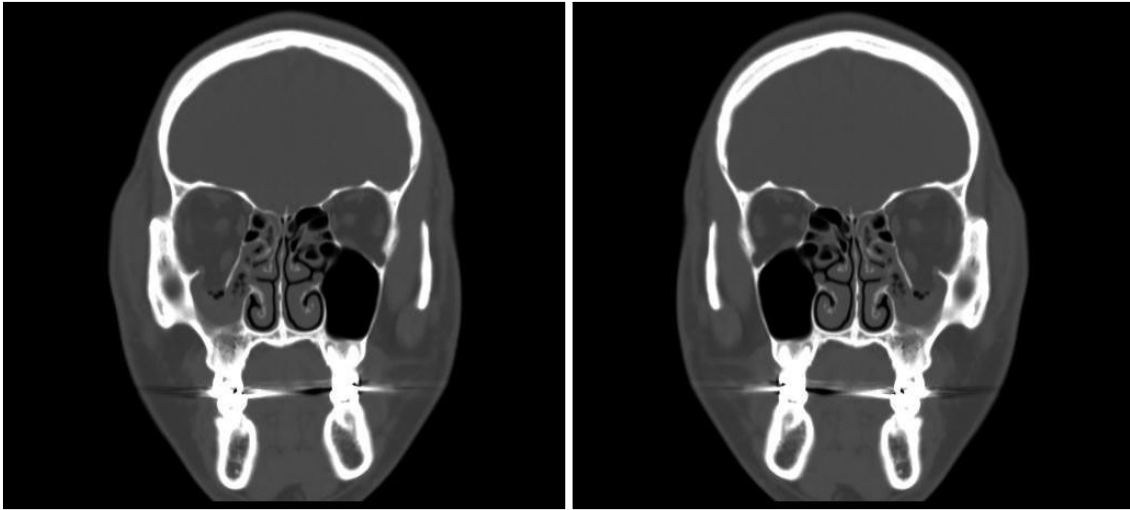


Fig. 1. A 26-year old man was diagnosed with right orbital wall fracture. (Right) CT shows inferior orbital wall fracture with soft tissue herniation. (Left) After mirror-image reconstruction of the orbital wall.

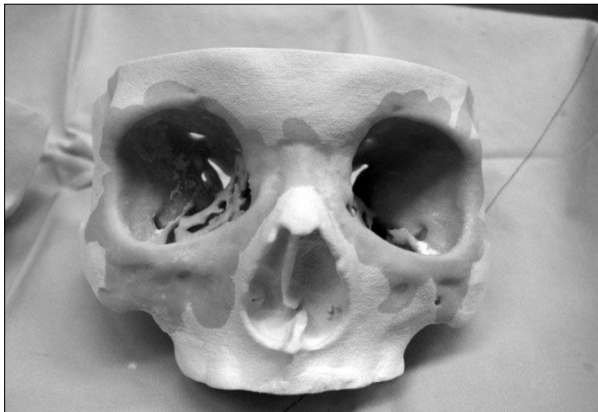


Fig. 2. RP model production based on 3DCT (fracture site: Rt.).



Fig. 3. Molded metal template along the normal anatomic curvature of RP model.

다. 그 후 이를 수술 중에 사용하기 위하여 에틸렌 옥사이드 가스소독 (ethylene oxide gas sterilization)을 하였다. 눈썹 하절개 (subciliary incision)를 이용한 접근 방법으로 안와 바닥의 골절면을 노출시켰다. 신속 조형 모델을 이용하여 정상측으로부터의 거울 이미지로 재현된 골절면의 환측 안와 윤곽을 본 따 얇은 금속형판 (metal template)을 제작하고, 이를 이용하여 삽입할 흡수성 인공삽입물 (Macropore Biosurgery®, Metronic, USA)의 윤곽을 결정한 후 (Fig. 3) 결손부의 크기를 측정하여 흡수성 인공삽입물의 크기를 재단하였다. 제작된 인공삽입물을 골절면에 정확히 삽입할 수 있었으며 삽입물은 이동을 방지하기 위해 1개 혹은 2개의 흡수성 나사를 이용하여 고정하였다 (Fig. 4).

환자는 수술 전 및 수술 후 6주에 안구돌출계 (Hertel exophthalmometer)를 이용하여 안구돌출도를 측정, 수술



Fig. 4. Absorbable plate is placed on the fracture site of the orbital wall, and it fits perfectly.

전 값과 비교하였고 이 때 정확한 측정을 위해 3번씩 측정 후 평균값을 구하였다. 수술 6주 후 얼굴뼈 컴퓨터단층촬영을 시행하여 골절 부위의 정확한 정복 여부를 확인하였고, 6개월간의 추적관찰을 통하여 안구증상 및 안구 돌출 또는 안구 함몰의 여부를 확인하였다.

III. 결 과

대상 환자들의 골절면의 크기는 평균 3.59 cm² (2.64~5.82 cm²)였다. 수술 전 이학적 검사 시 4명의 환자에서 상하방 주시시 복시, 2명의 환자에서 상하방 주시시 안구운동장애, 5명의 환자에서 안구 함몰 등의 증상이 관찰되었다. 수술 후 1명의 환자에서 상하방 주시 시 복시 증상이 지속되었으나 5주 후 경과관찰 시 증상이 소실되었고 수술 후 측정된 안구돌출도 또한 모든 환자에서 유사한 결과를 얻을 수 있었다 (Table I). 수술 후 시행한 얼굴뼈 컴퓨터단층촬영에서도 모든 환자에서 환측의 안와가 정상측의 형태와 유사한 형태를 유지하고 있었다 (Fig. 5).

IV. 고 찰

안와 (orbit)는 안구 (globe)가 위치하는 공간으로 7개의 안면골이 모여서 이루어져 있는 짝을 이루는 복잡한 구조물이다. 타원형의 바닥을 가지며 전체적으로는 피라미드 혹은 원뿔 형태로 구성되어 있다.²⁴ 앞뒤세로영상 (sagittal view)에서의 안와 바닥의 모양은 앞부분에서 오목했다가 위로 볼록해지면서 뒤돌출 (posterior bulge)을 형성하게 되고, 가로단면영상 (cross sview)에서는 바깥쪽에서 안쪽으로 가면서 45도 각도를 이루며 안와내벽과 만나면서 또 하나의 아래내측돌출 (inferior-medial bulge)을 형성하게 된다. 이러한

복잡한 해부학적 구조 때문에 안와바닥의 광범위한 골절이 있을 때에는 수상 이전의 정상 해부학적 구조를 예측하는 것이 쉽지 않으며, 인공삽입물의 형태를 이 두 부분의 돌출된 모양에 맞춰 제대로 만들지 않으면 불충분한 교정이 되어 안구함몰 혹은 안구돌출이 생길 수 있게 된다.²

안구함몰 (enopthalmos)는 안와골절에서 두 번째로 많은 주요 합병증으로, 안와용적의 증가, 골절면 사이의 안와연부조직의 죄임 (entrapment), 안와주변 지방조직의 위축 등이 원인이 될 수 있다.⁵ 특히 안와골절 정복술 시 정확한 골절면의 재건이 이루어지지 못할 경우에는 수술 후에도 안와용적이 증가된 채로 남아있게 되며 이로 인해서 안구함몰이 지속되는 경우가 많고 상대적으로 젊은 층에 영구적인 변형을 일으킬 수 있다.⁶ Ahn, Whitehouse 등은 외상 등에 의하여 안와 내 용적이 1 cm³ 커지면 0.8~0.9 mm의 안구 함몰이 발생한다고 보고한 바 있다.²⁷

이러한 합병증들을 최소화하기 위하여 저자들은 신속 조형 모델 (rapid prototyping model, RP model)을 이용한 정복술을 고려하게 되었다. 신속 조형 모델은 1980년대 초반부터 사용되기 시작하였으나 최근에 들어서야 많은 의학 분야에서 쓰이고 있다.⁸⁻¹⁰ 복잡한 해부학적 구조를 3차원적으로 쉽게 이해할 수 있어 수술 전 계획을 도울 수 있기 때문에 상대적으로 복잡한 구조를 가지고 있는 두개악안면 (craniomaxillofacial) 부위의 수술에서 효과적이다.^{1,3,5,6,10-12} 결과적으로 전신마취 하의 수술시간이 짧아지게 되고 수술 비용 절감의 효과를 기대해 볼 수 있다. 뿐만 아니라 많은 저자들이 골반이나 척추수술, 뇌수술 및 심혈관계 수술 등의 분야에서도 정확한 진단 및 수술 전 계획수립과 치료에 중요한 역할을 한다고 발표하고 있다.^{1,8,9,13} 또한 인공삽입물의 디자인에도 응용될 수 있는데 특히 안와는 복잡한 해부학적 구조를 가지고 있으므로 환자의 컴퓨터단층촬영 이미지를

Table I. Patient Summary

Patient No.	Age	Sex	Fracture site	Dimension of fracture site (cm ²)	Preop Exo (R / L)	Postop Exo (R / L)	Preop Sx.	Postop Sx.
1	29	M	Rt	5.82	13 / 16	15 / 16		
2	46	F	Lt	3.18	15 / 13	15 / 15		
3	51	F	Lt	2.71	17 / 16	17 / 17	L,D,H	H
4	22	F	Rt	2.64	14 / 15	15 / 15	L,D	
5	30	F	Rt	4.16	12 / 12	12 / 12	D,H	*D,H
6	48	F	Lt	3.98	15 / 15	15 / 15	H	H
7	23	M	Rt	2.67	13 / 14	14 / 14	D	

L, limitation of extraocular muscle; D, diplopia; H, hypesthesia.
*: resolved after 5 weeks.

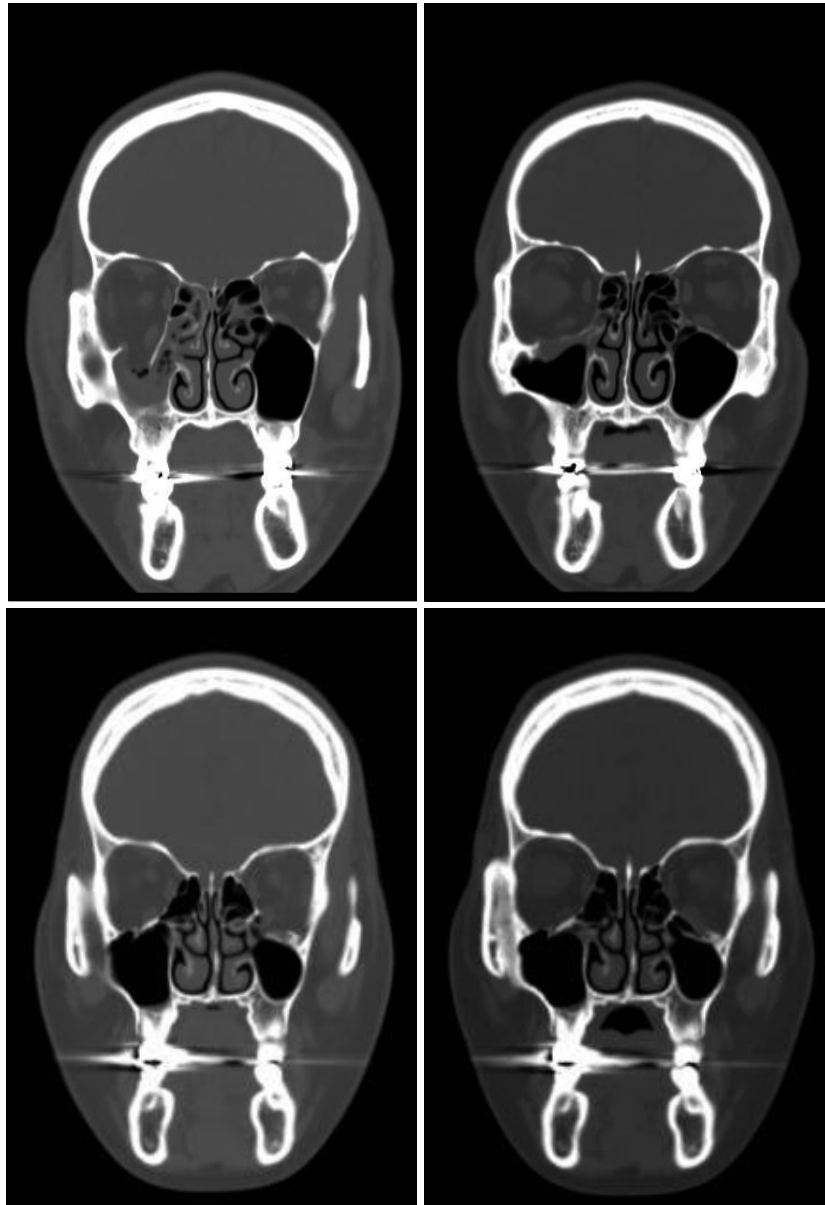


Fig. 5. (Above, left) Preoperative CT of patient No. 1 (coronal view). (Above, right) 6 months postoperative view of patient No. 1. (Below, left) Preoperative CT of patient No. 2 (coronal view). (Below, right) 5 weeks postoperative view of the same patient.

정상측과 환측을 각각 변환시켜 만든 신속 조형 모델을 이용하여 수술 전에 골절 이전의 정확한 정상 안와의 모양 및 골절의 정도를 좀 더 정확하게 알 수 있다. 이로 인하여 수술 시간을 단축하면서도 수술 도중의 주변 조직 외상을 최소화 하면서 정확한 정복이 가능하게 된다.^{1,6,8,11-14} Marcin 등⁶은 고식적인 방법과 신속 조형 모델을 이용한 안와 골절의 정복을 각각 12례씩 시행, 비교하여 신속 조형 모델을 이용하여 티타늄 그물판 (Titanium mesh plate)을 주조한 군에서 기능적으로 더 좋은 결과를 얻었다고 발표하였다. Chieh-Tsai 등¹⁴도 나비뼈 형성이상 (sphenoid dysplasia) 환자에서 신

속 조형 모델과 티타늄 그물판을 이용해 성공적으로 안와 재건술을 하였다고 보고하였다. 또한 저자들의 경험에 의하면 환자들에게 미리 제작한 신속 조형 모델을 보여주면서 수술에 대한 설명을 함으로써 수술 전 환자의 이해도 도울 수 있었다.

신속 조형 모델 사용 시 고려할 점으로 정확도의 문제와 비용적인 측면, 효율성을 생각해 볼 수 있다. 신속 조형 모델의 정확도는 컴퓨터단층촬영으로부터 얻어진 자료에 의해 결정되며 대부분의 학자들이 ± 1.5 mm 내에서의 정확도를 보이며 이는 의료 분야에 적용하는데 큰 문제가 없다고 하였

다.¹⁹ 저자들의 증례들에서도 신속 조형 모델의 정상측의 거울 이미지를 통해 만든 인공삽입물은 윤곽과 크기가 환자의 환측 안와 내에 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. 비용적인 측면에서도 안면골 전체를 신속 조형 모델로 만드는 것이 아니라 안와 부위만 선택적으로 재건한 모델을 만드는 것이기 때문에 추가 부담이 크지 않아 환자들이 납득할만한 수준이었고, 인공삽입물을 골절면에 맞게 제작하는 과정에 있어서도 고식적인 방법처럼 골절 부위를 넓게 박리하여 크기와 윤곽을 수회에 걸쳐 결정하는 것이 아닌, 신속 조형모델을 이용하여 한 번에 제작하여 삽입하는데 성공함으로써 조직의 손상도 최소화하고 수술시간도 최대한 단축하는 효율적인 방법이었다. 또한 신속 조형 모델을 이용한 정복술은 안와내벽이나 관골 골절 등에게까지 확대 적용할 수 있다고 생각되는데, 실제 Li WZ 등³은 복잡한 관골, 상악골 및 안와바닥의 골절이 동반된 환자에서 신속 조형 모델을 이용하여 성공적으로 정복할 수 있었다고 보고하였다.

안와 골절 정복 후 안와벽 복원(restoration)을 위해 자가 뼈이식, 금속그물판(metallic mesh plate), 흡수성 인공삽입물 등의 여러가지 재료를 사용하게 되는데, 이상적인 재료는 생체적합적(biocompatible)이고 알러지를 일으키지 않으면서 발암성이 없어야 하고 쉽게 다룰 수 있어야 한다.^{4,7} 수술 중의 삽입물 선택은 대부분 수술자의 선호도에 따라 결정되는 경우가 많지만 최근에는 티타늄 그물판(titanium mesh plate)과 흡수성 인공삽입물이 널리 쓰이고 있다.^{6,7,14} 티타늄 그물판의 경우 주조(molding)가 쉬워 윤곽을 쉽게 잡을 수 있지만 이러한 특징 때문에 실제 안와 내에 삽입(insetting)시 쉽게 모양이 변형될 수 있고, 평생 인체 내에 이물질들을 가지고 있어야 단점이 있다. 따라서 후에 안와 부위에 또 다른 외상을 입었을 경우 중요 구조물에 손상을 입힐 수 있게 된다. 또한 그물판 사이의 구멍으로 섬유조직이 내증식되어 후에 제거하는 것은 극히 어렵다.⁴ 그에 반해 흡수성 인공삽입물을 이용한 안와벽 복원은 감염에는 좀 더 감수성이 높지만 9~15개월 사이에 모두 흡수되고 금속주형을 이용한 주조 후에는 쉽게 모양이 변형되지 않는 장점이 있어 저자들은 흡수성 인공삽입물을 이용한 재건을 실시하였고 평균 6개월의 추적관찰 동안에 감염과 같은 합병증은 관찰되지 않았다.^{4,7}

또 하나의 고려할 점으로 인공삽입물의 변위에 대한 것인데 Converse 외에 의하면 수술 후 안구(globe)의 능동회전(active rotation)에 의해 삽입물의 전위가 생길 수 있다고 있으며, 특히 본 증례들에서와 같이 삽입물이 큰 경우에 더 많이 발생할 수 있다고 하였다. 따라서 많은 논문에서 안와 내에 삽입물을 위치시킬 때에 통상적으로 안와 내에 고정하는 것을 추천하고 있고 고정나사를 이용하여 고정하는 것이 위치를 유지하는데 있어서 가장 믿을만하면서 효과적이라

고 하였다.⁴ 본 증례에서도 2.5cm² 이상의 골절이 있는 환자를 대상으로 하였기 때문에 흡수성 인공삽입물의 이동을 막기 위하여 모든 환자에서 흡수성 고정나사를 이용하여 고정하였고 수술 후 약 6주 후에 시행한 컴퓨터단층촬영에서 삽입물의 위치가 잘 유지됨을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

안와골절 환자에서 안와바닥 골절이 심하여 결손 부위가 커 정상적으로 가지는 해부학적 안와의 굴곡을 파악하기 어려운 경우, 흡수성 인공삽입물의 윤곽을 잘못 조절하게 되면 안와 용적이 정상측과 비교해 차이가 나게 되거나 복시 등의 증상이 남게 된다. 또한 개인마다 안와바닥의 굴곡에 다른 윤곽의 차이가 있기 때문에, 본 교실에서는 거울 이미지의 신속 조형 모형을 이용하여 골절되기 전의 정상 해부학적 윤곽에 맞춰 흡수성 인공삽입물의 윤곽을 제작하여 보다 정상에 가까운 해부학적 구조로 안와골절 정복술을 시행할 수 있었기에 이를 보고하는 바이다.

REFERENCES

1. Go SU, O SH, Min SG: A study on the prediction of orthognathic surgery using rapid prototyping model technology. *J Korean Assoc Maxillofac Plast Reconstr Surg* 25: 314, 2003
2. Chen CT, Huang F, Chen YR: Management of posttraumatic enophthalmos. *Chang Gung Med J* 29: 251, 2006
3. Li WZ, Zhang MC, Li SP, Zhang LT, Huang Y: Application of computer-aided three-dimensional skull model with rapid prototyping technique in repair of zygomatico-orbitomaxillary complex fracture. *Int J Med Robot* 5: 158, 2009
4. Potter JK, Ellis E: Biomaterials for reconstruction of the internal orbit. *J Oral Maxillofac Surg* 62: 1280, 2004
5. Tang W, Guo L, Long J, Wang H, Lin Y, Liu L, Tian W: Individual design and rapid prototyping in reconstruction of orbital wall defects. *J Oral Maxillofac Surg* 68: 562, 2010
6. Kozakiewicz M, Elgalal M, Piotr L, Broniarczyk-Loba A, Stefanczyk L: Treatment with individual orbital wall implants in humans-1-year ophthalmologic evaluation. *J Craniomaxillofac Surg* 21: 1, 2010
7. Kontio R, Lindqvist C: Management of orbital fractures. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 21: 209, 2009
8. Rengier F, Mehndiratta A, von Tengg-Kobligk H, Zechmann cm, Unterhinninghofen R, Kauczor HU, Giesel FL: 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 5: 335, 2010
9. Webb PA: A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector. *J Med Eng Technol* 24: 149, 2000
10. Xu H, Han D, Dong JS, Shen GX, Chai G, Yu ZY, Lang WJ, Ai ST: Rapid prototyped PGA/PLA scaffolds in the reconstruction of mandibular condyle bone defects. *Int J Med Robot* 6: 66, 2010

11. Singare S, Liu Y, Li D, Lu B, Wang J, He S: Individually prefabricated prosthesis for maxilla reconstruction. *J Prosthodont* 17: 135, 2008
12. Mavili ME, Canter HI, Saglam-Aydinatay B, Kamaci S, Kocadereli I: Use of three-dimensional medical modeling methods for precise planning of orthognathic surgery. *J Craniofac Surg* 18: 740, 2007
13. Deshmukh TR, Kuthe AM, Vaibhav B: Preplanning and simulation of surgery using rapid modelling. *J Med Eng Technol* 34: 291, 2010
14. Wu CT, Lee ST, Chen JF, Lin KL, Yen SH: Computer-aided design for three-dimensional titanium mesh used for repairing skull base bone defect in pediatric neurofibromatosis type 1. *Pediatr Neurosurg* 44: 133, 2008