



Prototipagem: aplicações na cirurgia crânio-maxilo-facial do Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia (INTO)- RJ

Prototyping: applications in craniomaxillofacial surgery at the Brazilian National Institute of Traumatology and Orthopedics (INTO)-RJ

PABLO MARICEVICH^{1,2*}
EDUARDO PANTOJA^{1,3}
ANDRÉ MANSUR^{1,3}
ACRYSIO PEIXOTO^{1,3}
JULIA AMANDO^{1,3}
PHILIP YIN VIEIRA BORGES^{1,3}
ANDRÉ BRAUNE^{1,3}
JOSÉ AUGUSTO NASSER^{3,4}
RICARDO LOPES DA CRUZ^{1,3}

■ RESUMO

A prototipagem é um processo de construção para obter protótipos físicos a partir de modelos 3D digitais. A introdução da prototipagem na medicina é recente. Caso 1 - Paciente de 18 anos portador de defeito craniano de 192 cm² secundário a uma craniotomia descompressiva. Foi feita uma cranioplastia com prótese customizada confeccionada a partir da prototipagem. Caso 2 - Paciente de 34 anos portador de seqüela de fratura panfacial. Apresentava importante defeito do complexo zigomático-orbitário, com grande deslocamento do zigoma. O plano cirúrgico foi feito com o protótipo; e o protótipo foi levado à sala de cirurgia para auxiliar o ato operatório. Caso 3 - Paciente 29 anos portadora de um ameloblastoma de mandíbula da região subcondilar até parassínfise direita. Foi feita a prototipagem do esqueleto craniofacial e fíbula, e uma cirurgia de modelo 1 dia antes. Discussão: A prototipagem pode ter aplicação na cirurgia craniofacial de várias maneiras: confecção de próteses customizadas, planejamento cirúrgico e educação dos residentes e pacientes. No caso 1, a prótese customizada tem como vantagens a ausência de área doadora e o excelente resultado estético. No caso 2, a presença do protótipo na sala de cirurgia ajudou a identificar com mais rapidez o zigoma para reposicioná-lo. No caso 3, a cirurgia de modelo diminuiu a morbidade da área doadora; definiu a osteotomia da fíbula e as margens de ressecção; moldou a placa; escolheu os parafusos; encaixou a prótese de côndilo na ATM; alcançou a melhor oclusão possível; e diminuiu tempo cirúrgico, anestesia, e custo hospitalar.

Descritores: Impressão tridimensional; Craniotomia; Ferimentos e lesões/complicações; Mandíbula/anormalidades.

Instituição: Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia (INTO-RJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Artigo submetido: 30/7/2014.
Artigo aceito: 21/4/2015.

DOI: 10.5935/2177-1235.2015RBCP0203

¹ Sociedade Brasileira de Cirurgia Plástica, São Paulo, SP, Brasil.

² Associação Brasileira de Cirurgia Crânio-Maxilo-Facial, Recife, PE, Brasil.

³ Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁴ Sociedade Brasileira de Neurocirurgia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

■ ABSTRACT

Prototyping is a process of construction in order to obtain physical prototypes from 3D digital models. The introduction of prototyping in medicine is a recent event. Case 1: An 18-year-old patient with a 192 cm² cranial defect secondary to a decompressive craniectomy. A cranioplasty was performed using a customized prosthesis manufactured by prototyping. Case 2: A 34-year-old patient with a panfacial fracture sequelae. This patient had a relevant defect in the zygomatico-orbital complex, with great zygoma dislocation. Surgical planning was performed using the prototype, which was taken to the surgery room to support the surgery. Case 3: A 29-year-old patient with a mandibular ameloblastoma from the subcondylar region to the right parasymphysis. Prototyping of the craniofacial skeleton and fibula were carried out in addition to a model surgery that was performed on the previous day. Discussion: Prototyping can be applied to craniofacial surgery in many ways, such as customized prosthesis manufacturing, surgical planning, and education of residents and patients. In case 1, a customized prosthesis had the advantage of not requiring a donor area and resulted in excellent esthetic results. In case 2, the presence of the prototype during surgery helped identify the zygoma more quickly in order to reposition it. In case 3, the model surgery helped decrease morbidity of the donor area, define fibular osteotomy and the resection margins, mold the plate, select the screws, ensure the condylar prosthesis fit in the temporomandibular joint (TMJ), achieve the best occlusion possible, and reduce the surgical time, anesthesia, and hospital-associated costs.

Keywords: Three-dimensional printing; Craniotomy; Injuries and lesions/complications; Mandible/abnormalities.

INTRODUÇÃO

A prototipagem é um processo de construção para obter protótipos físicos a partir de modelos tridimensionais digitais. Desenvolvidos há mais de 30 anos, os sistemas de prototipagem constroem protótipos por meio da adição de finas camadas de um material específico (plásticos, cerâmicas, metais, papel etc.)¹⁻³. Modelos de objetos virtuais são transformados, rápida e precisamente, em modelos físicos destes objetos⁴. Estes objetos virtuais podem ser criados por *softwares* de *design*, baixados pela internet de *sites* específicos ou *escaneados* a partir de um objeto já existente. A prototipagem foi inicialmente utilizada na indústria automotiva e aeronáutica, mas, atualmente, é usada em muitas outras áreas⁵⁻⁷.

A introdução da prototipagem na medicina é relativamente recente. Com o avanço tecnológico da radiologia (TC e RNM), imagens de alta definição são geradas, permitindo a detalhada visualização e análise em 3D das estruturas anatômicas⁸. A partir destas imagens, uma impressora digital pode criar um modelo 3D da estrutura anatômica estudada⁹.

Mais recentemente, há a possibilidade de combinar a tecnologia do *scanning* com a tecnologia da prototipagem por meio de um aplicativo de *smartphone*. Já é possível *escanear* objetos pelo *smartphone*, enviar o arquivo tridimensional para a impressora 3D por *Wi-Fi* e imprimir objetos na forma do modelo *escaneado*¹⁰.

Este trabalho objetiva apresentar exemplos do uso da prototipagem na cirurgia crânio-maxilo-facial e discutir sobre seus benefícios no planejamento cirúrgico, no aprendizado do residente, no esclarecimento do paciente e na confecção de próteses customizadas.

SÉRIE DE CASOS

O trabalho apresenta três casos distintos operados em 2013, nos quais a Equipe de Cirurgia Crânio-Maxilo-Facial do INTO-RJ decidiu, na sua reunião clínica semanal, utilizar a prototipagem como parte do tratamento destes pacientes. O caso 1 apresentava um defeito craniano de espessura total e sua prototipagem e prótese customizada foram realizadas pela empresa *EincoBio*[®]. Os casos 2 e 3

apresentavam seqüela de fratura panfacial e tumor de mandíbula, respectivamente, e seus protótipos foram feitos pelo Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer.

Todos os protótipos foram feitos sem custo nenhum: a *Eincobio*[®] doou a prótese craniana e o *CTI Renato Archer* dispõe de um convênio para pacientes do SUS. Os benefícios e possíveis desvantagens da utilização da prototipagem foram observados e discutidos pela equipe com base na literatura já existente sobre o assunto.

Caso 1

Paciente de 18 anos, portador de defeito craniano de espessura total fronto-parieto-temporal de 192 cm² secundário a uma craniotomia descompressiva por acidente de moto há 1 ano (Figura 1). Optamos pela incisão na cicatriz prévia do neurocirurgião, um acesso hemicoronar. Ao achar o plano ósseo peridefeito, entramos em um plano exatamente supra dura-máter, expondo totalmente o defeito e deixando uma boa cobertura de partes moles acima. Em seguida, foi feito o reavivamento das bordas do defeito com uma broca, um ponto de suspensão na dura-máter e houve o encaixe perfeito da prótese customizada, cuja fixação realizou-se com placas e parafusos (Figuras 2 e 3). Não houve qualquer intercorrência e o paciente evoluiu bem (Figuras 4 e 5). Neste caso, a prototipagem foi realizada na *Eincobio*[®], onde foi feito o protótipo do defeito, que serviu para a confecção e para teste de encaixe da prótese customizada.

Caso 2

Paciente de 34 anos, portador de seqüela de fratura panfacial por acidente de moto há 3 anos (Figura 6). Apresentava importante deslocamento do osso zigomático, ausência de assoalho, rebordo inferior, parede lateral e rebordo lateral da órbita e cavidade anoftálmica à direita. Foi realizado um acesso bicoronar e exposição de todo o crânio e terço médio da hemiface direita. O plano cirúrgico já havia sido feito com o protótipo em reunião clínica e, em adição, o protótipo foi levado à sala de cirurgia para auxiliar o ato operatório. O zigoma foi reposicionado e fixado no arco zigomático e sutura fronto-zigomática com placas e parafusos, captamos enxerto de tábua externa de parietal e, com este osso, reconstruímos os rebordos orbitários inferior e súperolateral (Figura 7). Não houve qualquer intercorrência e o paciente evoluiu bem (Figura 8).

Caso 3

Paciente, 29 anos, portadora de um ameloblastoma de mandíbula, confirmado por biópsia, que se estendia da

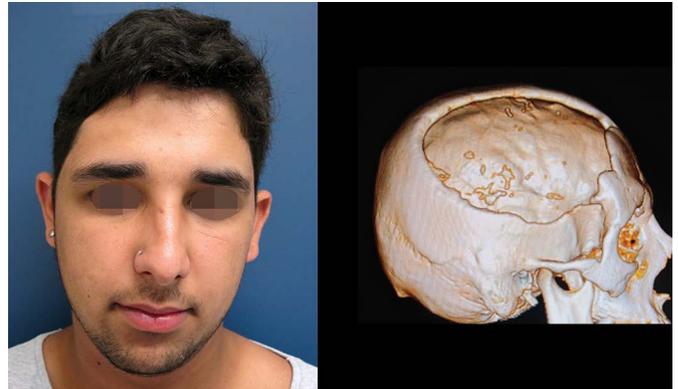


Figura 1. Paciente de 18 anos portador de defeito craniano de 192 cm² por seqüela de craniotomia descompressiva.

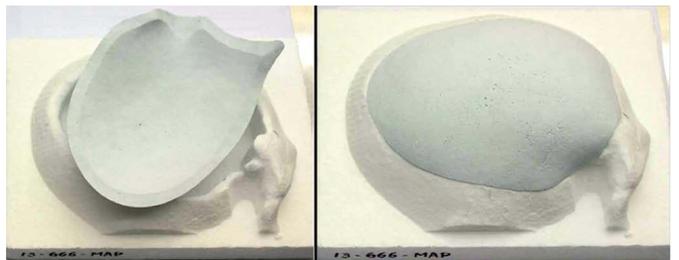


Figura 2. Prototipagem do crânio e do defeito através da TC e design da prótese que encaixa perfeitamente no defeito.

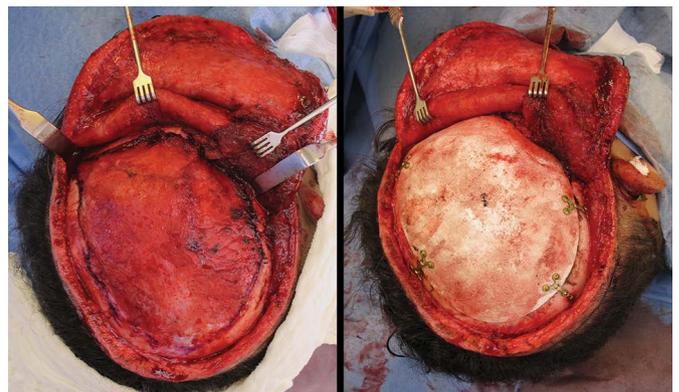


Figura 3. Defeito exposto com bordas reavivadas e prótese fixada no defeito.

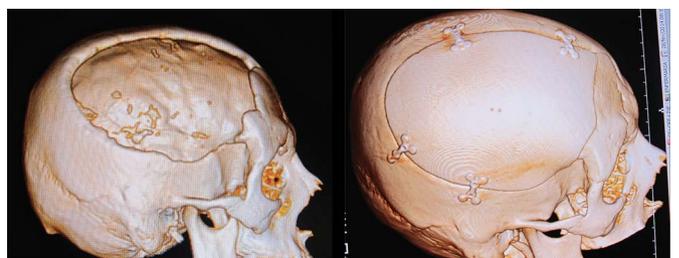


Figura 4. TC pré e pós-operatória com prótese reconstruindo defeito craniano.

região subcondilar até parassínfise direita (Figura 9). O plano cirúrgico decidido em reunião clínica foi ressecção do tumor com margens de 1 cm e reconstrução imediata



Figura 5. Pré-operatório e no 11º mês pós-operatório de cranioplastia com prótese.



Figura 8. Pré-operatório e no 17º mês pós-operatório com o zigoma reposicionado.

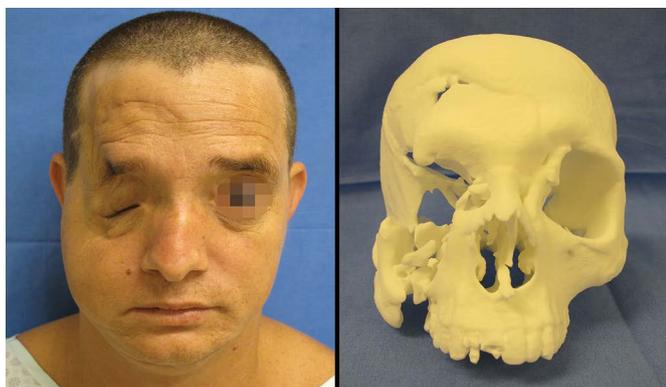


Figura 6. Paciente de 34 anos portador de seqüela de fratura panfacial com deformidade zigomático-orbitária.



Figura 9. Paciente de 29 anos portadora de ameloblastoma de mandíbula de região subcondilar até parassínfise D.

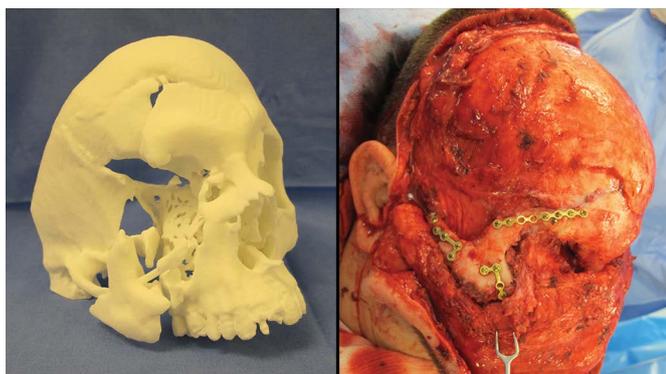


Figura 7. Protótipo evidenciando posição do zigoma na sala de cirurgia; e zigoma reposicionado e órbita reconstruída com parietal no transoperatório.

com retalho ósseo livre de fíbula e prótese de cêndilo. Nesta paciente resolvemos fazer o protótipo craniofacial e da fíbula doadora. Um dia antes da cirurgia, levamos os protótipos para o centro cirúrgico, realizamos a cirurgia e, com os protótipos na mão, fizemos algumas decisões e movimentos antecipados: decidimos a margem de ressecção proximal, preservando o canino; dobramos a placa de reconstrução moldando-a ao osso remanescente e man-

tendo o diâmetro transverso da mandíbula e a oclusão; ajustamos a altura e a posição exata da prótese de cêndilo na ATM; decidimos quanto de fíbula iríamos precisar e a quantidade de osteotomias; realizamos a osteotomia e o desgaste do osso remanescente para que a fíbula se encaixasse perfeitamente; e escolhemos o tamanho dos parafusos para cada segmento de osso (retalho e osso nativo). Todo o material de fixação foi para esterilização após a cirurgia de modelo (Figuras 10 a 12). No dia seguinte, repetimos tudo que havia sido feito no protótipo sem nenhuma intercorrência e houve uma clara diminuição do tempo cirúrgico (Figuras 13 e 14). A paciente evoluiu na 3ª semana pós-operatória com infecção de sítio cirúrgico tratada com antibiótico venoso e com uma paresia do ramo marginal mandibular que vem sendo tratada pela fonoaudiologia com sucesso. A prótese de cêndilo parece ter se deslocado um pouco, desalinhando um pouco a oclusão, mas sem nenhum impacto na função de abertura da boca e mastigação (Figura 15).

DISCUSSÃO

A prototipagem pode ter aplicação na cirurgia crânio-maxilo-facial de várias maneiras: confecção de próteses customizadas, planejamento cirúrgico e

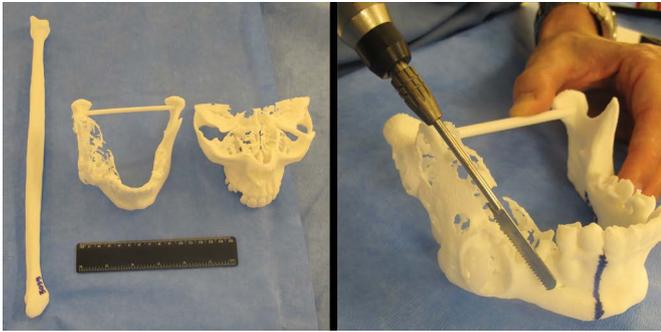


Figura 10. Prototipagem do esqueleto craniofacial e fibula D; e cirurgia de modelo 1 dia antes definindo a margem de ressecção.

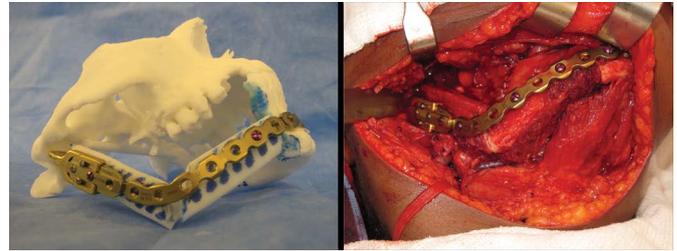


Figura 14. Semelhança da cirurgia de modelo e o transoperatório.

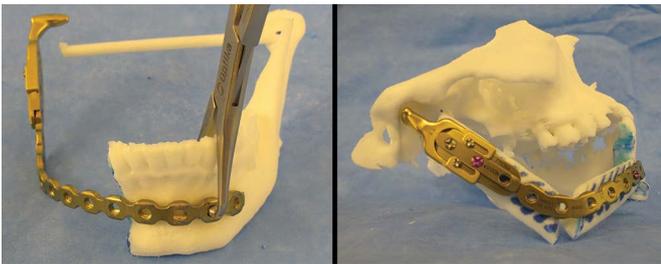


Figura 11. Tumor ressecado e barra transversal garantindo o diâmetro transversal; e fibula osteotomizada e dobrada, placa dobrada e fixada, e prótese regulada e posicionada na glenoide.



Figura 15. Pré-operatório e 8º mês pós-operatório de ressecção de ameloblastoma + reconstrução imediata com retalho livre de fibula e prótese de côndilo.

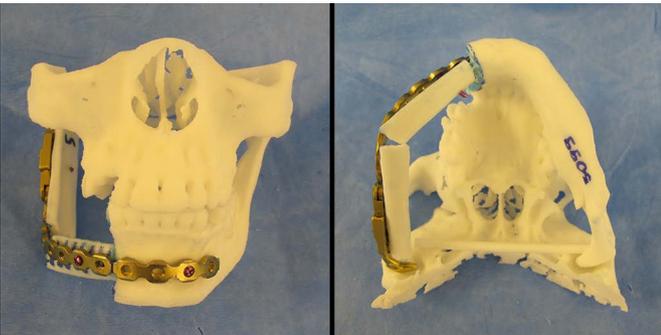


Figura 12. Desgaste na sínfise para melhor encaixe e parafusos já escolhidos; e contato ósseo presente com diâmetro transversal mantido.

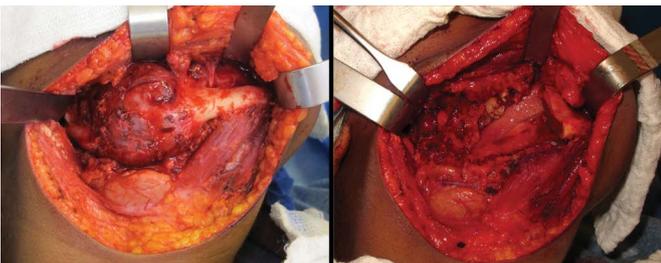


Figura 13. Ameloblastoma de região subcondilar até parassínfise D; e defeito remanescente após ressecção.

educação dos residentes e pacientes¹¹. Nestes casos apresentados podemos vivenciar todas estas formas de aplicação. O processo de obtenção do protótipo ou prótese customizada é bem simples: mandamos

um DVD com a tomografia computadorizada dos pacientes para a *Eincobio*®, no caso da prótese customizada, e o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, no caso dos protótipos, e em, 1 a 2 semanas, já estávamos com o material nas mãos.

No caso 1, apesar de considerarmos o enxerto de autólogo de tábua externa de parietal como padrão ouro nas cranioplastias, houve a decisão por prótese customizada¹². Esta decisão foi baseada no tamanho do defeito (> 36 cm²) e na opção do paciente pelo método Nestes casos, a prótese customizada tem como principais vantagens a ausência de área doadora e o excelente resultado estético de uma peça que se encaixa perfeitamente no defeito. Em contrapartida, existe uma possibilidade de rejeição do material aloplástico e maior risco de infecção

e extrusão do que um enxerto autólogo^{13,14}. Um detalhe técnico importante nestes casos é garantir uma boa cobertura de partes moles, criando um plano tangenciando exatamente a dura-máter, e o reavivamento das bordas do defeito para estimular uma integração do tecido local com a prótese porosa.

No caso 2, uma grave seqüela de fratura panfacial com, praticamente, ausência de todo complexo zigomático-orbitário direito. Um defeito de difícil compreensão anatômica, em que achamos que seria válida a prototipagem para definição de um planejamento cirúrgico mais adequado. A presença do protótipo na sala de cirurgia também nos ajudou a identificar com mais rapidez e precisão a peça de zigoma que estava solta entre as partes moles do paciente na altura do processo alveolar da maxila. O zigoma deslocado subiu como um enxerto livre para sua posição original e a reconstrução completou-se com enxertos de tábua externa de parietal e fixação interna rígida. Ter a visão do modelo e do campo cirúrgico ao mesmo tempo no transoperatório foi um fator facilitador para o nosso trabalho.

No caso 3, uma cirurgia de grande porte com ressecção tumoral comprometendo toda uma hemimandíbula e ATM direita, e reconstrução com retalho microcirúrgico, placa de reconstrução e prótese condilar. A cirurgia de modelo realizada um dia antes nos trouxe uma série de benefícios: diminuição da morbidade da área doadora (captar só o necessário); definição da osteotomia da fíbula; definição das margens de ressecção; moldagem da placa; escolha dos parafusos; manutenção do diâmetro transversal mandibular; encaixe da prótese de côndilo na ATM; manutenção da melhor oclusão possível; menos tempo cirúrgico, menos anestesia, e menos custo hospitalar¹⁵. Um detalhe técnico importante da prototipagem deste caso é que pedimos para prototipar também a base do crânio (contendo a glenoide) e solicitamos a confecção de uma barra transversal da face medial de um côndilo para o outro, o que nos ajudou na manutenção do diâmetro transversal da mandíbula e no encaixe da prótese de côndilo na glenoide. Podemos citar com uma desvantagem neste caso a impossibilidade de esterilizar o protótipo, principalmente no que diz respeito à osteotomia da fíbula doadora. Contornamos este fato envolvendo os dois segmentos modelo em *Tegaderm*[®] estéril e, assim, colocando os moldes lado a lado com a fíbula captada, pudemos reproduzir exatamente o tamanho e a angulação do bisel que havíamos feito no dia anterior. Não houve necessidade de nenhum ajuste na dobra da placa e nem qualquer outra osteotomia ou desgaste ósseo além do planejado.

No que diz respeito à educação, o conhecimento anatômico é pré-requisito fundamental para realizar uma cirurgia. A prototipagem pode melhorar o aprendizado do cirurgião em treinamento e ajudar bastante no esclarecimento do paciente em relação a sua condição atual e à expectativa do resultado. O custo teórico desta tecnologia seria o custo da impressora tridimensional, do material do qual será feito o molde e do *software*. Atualmente, o custo de uma impressora 3D doméstica varia de U\$ 500 a U\$ 2.500, há uma grande variedade de materiais não muito caros que podem ser usados e *softwares* de design podem ser adquiridos *online* sem pagar nada. O custo total será determinado pelo material escolhido, pelo volume de material utilizado e pelo tamanho do protótipo. Uma vez possuindo a impressora, o custo para o prototipagem de um crânio completo pode chegar a U\$ 3.40, contando o material e a eletricidade gastos¹¹.

Ainda que a prototipagem não faça parte do dia-a-dia de muitos centros de cirurgia craniofacial no Brasil, acreditamos que esta tecnologia tem o potencial para melhorar muito a prática e ensino cirúrgico em alguns casos. Com o tempo, todos estes custos provavelmente irão diminuir, tornando a prototipagem mais acessível a todos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à *Eincobio*[®] pela doação da prótese craniana customizada do caso 1 e ao Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer pela prototipagem dos casos 2 e 3.

REFERÊNCIAS

1. Souza MA, Centeno TM, Pedrini H. Integrating 3D reconstruction of tomographic images and rapid prototyping for fabrication of medical models. *Braz J Biomed Eng.* 2003;19(2):103-15.
2. Bibb R, Taha Z, Brown R, Whight D. Development of a rapid prototyping design advice system. *J Intell Manuf.* 1999;10(3/4):331-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008920512663>
3. Choi JY, Choi JH, Kim NK, Kim Y, Lee JK, Kim MK, et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2002;31(1):23-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1054/ijom.2000.0135>
4. Yeong WY, Chua CK, Leong KF, Chandrasekaran M. Rapid prototyping in tissue engineering: challenges and potential. *Trends Biotechnol.* 2004;22(12):643-52. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2004.10.004>
5. Grevera GJ, Udupa JK, Odner D. An order of magnitude faster isosurface rendering in software on a PC than using dedicated, general purpose rendering hardware. *IEEE Trans Vis Comput Graph.* 2000;6(4):335-45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/2945.895878>
6. Kai CC, Meng CS, Ching LS, Hoe EK, Fah LK. Rapid prototyping assisted surgery planning. *Int J Adv Manuf Technol.* 1998;14(9):624-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01192281>

7. Klug C, Schicho K, Ploder O, Yerit K, Watzinger F, Ewers R, et al. Point-to-point computer-assisted navigation for precise transfer of planned zygoma osteotomies from the stereolithographic model into reality. *J Oral Maxillofac Surg.* 2006;64(3):550-9. PMID: 16487823 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2005.11.024>
8. Liu Q, Leu MC, Schmitt SM. Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *Int J Adv Manuf Technol.* 2006;29(3):317-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-005-2523-2>
9. Rengier F, Mehndiratta A, von Tengg-Kobligh H, et al. 3D printing based on imaging data: Review of medical applications. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2010;5:335-341.
10. Chim H, Schantz JT. New frontiers in calvarial reconstruction: integrating computer-assisted design and tissue engineering in cranioplasty. *Plast Reconstr Surg.* 2005;116(6):1726-41. PMID: 16267439 DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/01.prs.0000182386.78775.cd>
11. Isaac M. Sculpteo 3-D printing app uses your mug to make a mug [Accessed: Ago 12, 2015]. Available from: <http://www.wired.com/gadget-lab/2012/01/sculpteo-3d-printing-app/>
12. Gerstle TL, Ibrahim AM, Kim PS, Lee BT, Lin SJ. A plastic surgery application in evolution: three-dimensional printing. *Plast Reconstr Surg.* 2014;133(2):446-51. PMID: 24469175
13. Hara T, Farias CASA, Costa MJM, Cruz RJL. Cranioplastia: parietal versus prótese customizada. *Rev Bras Cir Plást.* 2011;26(1):32-6.
14. Uygur S, Eryilmaz T, Cukurlouglu O, Ozmen S, Yavuzer R. Management of cranial bone defects: a reconstructive algorithm according to defect size. *J Craniofac Surg.* 2013;24(5):1606-9.
15. Reddy S, Khalifian S, Flores JM, Bellamy J, Manson PN, Rodriguez ED, et al. Clinical outcomes in cranioplasty: risk factors and choice of reconstructive material. *Plast Reconstr Surg.* 2014;133(4):864-73. PMID: 24675189

Autor correspondente:*Pablo Maricevich**

Av. Engenheiro Antônio de Góes, 275, Pina, Recife, PE, Brasil

CEP 51110-000

E-mail: jpmaricevich@hotmail.com