

Craneoplastia con prótesis de polimetilmetacrilato y planificación en 3D. Presentación de caso clínico y revisión de la literatura

Cranioplasty with polymethylmethacrylate prosthesis and 3D planification, case report and literature review

Resumen

En este artículo se muestra que es posible realizar una prótesis digital con polimetilmetacrilato (PMMA) de forma sencilla con programas gratuitos y una impresora 3D de bajo costo y de fácil manejo. El caso clínico corresponde a un masculino de 38 años de edad quien refiere haber sido operado de urgencia por un hematoma subdural de origen traumático, secundario a una caída desde un andamio de 5 metros de altura, por parte del Servicio de Neurocirugía con una craneotomía descompresiva 10 meses atrás, actualmente presentando un defecto en región supraorbitaria y frontal bilateral y refiriendo cefaleas y mareos constantes con diagnóstico de síndrome del trepanado. Se decide diseñar digitalmente una prótesis con PMMA colocándola bajo anestesia general balanceada en quirófano mediante un acceso coronal, fijándola con tornillos de titanio y reposicionando tejidos con suturas. Se logra eliminar de forma inmediata el defecto visual, la sintomatología desapareció por completo confirmándolo en los controles desde los 7 días. Se muestra que es posible realizar una prótesis craneal personalizada de bajo costo de forma sencilla, resolviendo las molestias y eliminando las secuelas y complicaciones que afectan a los pacientes tratados por craneotomías descompresivas con presencias de defectos.

Palabras clave: Craneotomía; Polimetilmetacrilato; Cráneo; Prótesis e implantes (fuente: DeCS BIREME).

Abstract

In this article it is shown that it is possible to make a digital prosthesis with Polymethylmethacrylate (PMMA) with free programs and a low-cost and easy-to-use 3D printer. The clinical case corresponds to a 38-year-old male who reported having undergone emergency surgery for a subdural hematoma of traumatic origin, secondary to a fall from a 5-meter-high scaffolding, procedure done by the Neurosurgery Service with a decompressive craniotomy 10 months ago, nowadays he presents a bilateral defect at the supraorbital and frontal region, referring constant headaches and dizziness with a diagnosis of a trepanation syndrome. We decided to digitally design a prosthesis with PMMA, placing it under balanced general anesthesia in the operating room through a coronal approach, fixing it with titanium screws and repositioning tissues with sutures. The visual defect was immediately eliminated, the symptoms disappeared completely,

James Philippe Jerez Robalino ^{1,a}, Mario Alberto Teliz Meneses ^{1,b}, Guillermo Martínez Huichan ^{2,c}, Oskar Eduardo Prada Vidarte ^{1,d}, Marco Xavier Vizuete Bolaños ^{1,a}

¹ Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

² Hospital General Balbuena, Ciudad de México, México.

^a Cirujano Dentista.

^b Cirujano Maxilofacial.

^c Maestro en Ciencias Forenses y Criminalística.

^d Maestro en Estomatología.

Correspondencia:

James Philippe Jerez Robalino: jamje15@hotmail.com
Circuito de los Institutos s/n Ciudad Universitaria, Col. Copilco, Alcaldía Coyoacán, CP. 04510, Ciudad de México, México
ORCID: 0000-0002-3441-424X

Coautores:

Mario Alberto Teliz Meneses: matelizm@hotmail.com
ORCID: 0000-0002-7839-6987

Guillermo Martínez Huichan: cd.guillermohuichan@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3238-2483

Oskar Eduardo Prada Vidarte: eduline22@hotmail.com
ORCID: 0000-0002-8827-6209

Marco Xavier Vizuete Bolaños: marcovizuete5@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6139-6836

Editora:

Juana Delgadillo-Avila
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de intereses.

Fuente de financiamiento: autofinanciado.

Recibido: 30/09/21

Aceptado: 05/02/22

Publicado: 11/04/22

confirming it at the controls since day 7. It is shown that it is possible to perform a low-cost personalized cranial prosthesis in a simple way, solving the discomfort and eliminating the sequelae and complications that affect patients treated by decompressive craniectomies with the presence of defects.

Keywords: Craniotomy; Polymethyl methacrylate; Skull; Prostheses and implants (source: MeSH NLM).

Introducción

La impresión 3D fue inventada en 1984 por Charles Hull, representando un gran avance tecnológico, pasando de imprimir papel a imprimir objetos. Él lo describió como estereolitografía o “la impresión” de materiales en capas sucesivas una sobre otra para formar un objeto 3D, finalmente patentando la estereolitografía en el año 1987. La primera máquina de modelado por deposición fusionada (FDM) fue producida en 1991, esta tecnología usaba un extrusor y capas de plástico que se depositaban sobre una plataforma, como en la actualidad ¹.

La craneoplastía es uno de los procedimientos quirúrgicos más antiguos, con evidencia arqueológica de los antiguos incas que usaron oro para reconstruir agujeros de trefinados en los años 3000 aC ². El registro escrito más antiguo de craneoplastía data de 1505 cuando Ibrahim bin Abdulla indicó el uso de xenoinjertos craneales de cabras y perros ³. En 1561 en “Observationes Anatomicae” el italiano Fallopius describió la craneoplastía con placas de oro. Como resultado de esta larga historia varias técnicas han sido desarrolladas para la reparación de estos defectos usando autoinjertos, aloinjertos y varios biomateriales incluido el oro, el acero inoxidable, el vitalium, el tantalio, el titanio, el polietileno, el metilmetacrilato, el poliéter éter cetona (PEEK), el acrílico, las cerámicas y los vidrios bioactivos ⁴⁻⁶.

Los defectos causados por factores como traumas craneales, tumores cerebrales, isquemias, infecciones o desórdenes intracraneales contribuyen a la pérdida de tejido óseo y la posterior necesidad de una reconstrucción ⁷. La craneoplastía sirve no sólo como una barrera física para las estructuras cerebrales y/o para el recontorneado estético del defecto craneal sino también como medida terapéutica para el control de alteraciones en el líquido cefalorraquídeo, la circulación sanguínea y las demandas metabólicas del cerebro ⁸. La craneoplastía de defectos craneales postcraniectomía previene y trata los estadios iniciales del síndrome del trefinado que se caracteriza por una disminución en la función motora ⁹. La principal indicación para realizar la craniectomía es el aumento de la presión intracraneal que puede ocurrir seguido de lesiones cerebrales traumáticas, infracciones cerebrales, hemorragia subaracnoidea, hemorragia intracraneal, encefalitis y trombosis del seno venoso ¹⁰.

Muchos materiales han sido utilizados para reparar los defectos craneales, los cuales deben tener las siguientes propiedades: resistente a infecciones, no conductores de calor o frío, resistente a los procesos biomecánicos,

maleable para poder realizar el cierre completo del defecto y que no sea costoso ⁵.

El polimetilmetacrilato (PMMA) es un éster polimerizable de ácido acrílico descubierto en 1939. El PMMA tiene una resistencia comparable con el hueso y tiene una mayor resistencia a la compresión y al estrés que la hidroxiapatita; además el PMMA ha mostrado que se adhiere a la duramadre sin reacción en el tejido que reviste ¹². Tradicionalmente la craneoplastía se deberá postergar hasta que el edema cerebral se resuelva y que el estado neurológico del paciente mejore, y así reducir la posibilidad de infección ¹³. La técnica de craneoplastía utilizando material aloplástico PMMA es una forma común de restaurar el hueso craneal perdido ¹⁴. Estas técnicas requieren del modelamiento del material durante su polimerización, esto puede ser difícil en relación a la forma del cráneo y los resultados estéticos. Un gran problema es que, en condiciones quirúrgicas, el libre modelamiento del PMMA es difícil, además que el proceso de fabricación y diseño de un implante personalizado ha evolucionado drásticamente en solo unas décadas, de un moldeado a mano a un modelamiento asistido por computadora ¹⁵.

La impresión tridimensional es una forma de manufactura en la cual los materiales, plásticos o metales, son depositados uno sobre otro en capas para producir un objeto 3D ¹⁶. El diseño de los objetos a imprimir se realiza usando imágenes obtenidas por resonancias magnéticas (MRI), tomografía computarizada (CT) y más recientemente por programas diseño asistido por computadora (CAD) ¹⁷. El uso de la tecnología de impresión 3D en medicina ha crecido mucho, iniciando con el diagnóstico de enfermedades y la elaboración de modelos de estudio hasta la actualidad creando dispositivos y aplicaciones quirúrgicas cubriendo los requerimientos y las necesidades de cada paciente ¹.

Reporte del caso

Se presenta un paciente de 38 años de edad, de sexo masculino al servicio de cirugía maxilofacial del Hospital General Balbuena de la Ciudad de México por presentar un defecto en la región frontal, refiere haber sido operado de urgencia por un hematoma subdural de origen traumático secundario a la caída desde un andamio de 5 metros de altura por parte del Servicio de Neurocirugía con una craneotomía descompresiva 10 meses atrás, así como reducción abierta y fijación interna de fracturas de huesos faciales, presentando un defecto en región supraorbitaria y frontal bilateral y refiriendo cefaleas y

mareos constantes. Los antecedentes patológicos personales y heredofamiliares fueron interrogados y negados.

A la exploración clínica se encuentra cráneo con presencia de cicatriz de abordaje coronal que se extiende desde la región temporal de un lado hacia la del lado opuesto, por intervención quirúrgica previa, así como presencia de defecto craneal en región frontal y supraciliar bilateral, a la palpación se encuentran bordes orbitarios superiores con presencia de defecto bilateral y en bordes orbitarios inferiores se percibe material de osteosíntesis a la palpación, presencia de distopia a expensas de hipoglobo de ojo izquierdo de 8 mm, movimientos oculares sin atrapamientos, agudeza visual conservada contando dedos a 30 centímetros de distancia, presenta diplopía binocular a la superversión, pupilas isocóricas y normorreflécticas, pirámide nasal sin crepitaciones, dorso nasal con desviación a la derecha, apertura bucal conservada, labios y mucosas con adecuada hidratación, resto sin datos de importancia (Figura 1).

Paciente cuenta con tomografía axial computarizada de cráneo y macizo facial simple de cortes a 1mm con reconstrucción coronal, sagital y volumétrica, donde se constata áreas hipodensas en región frontal y supraciliar bilateral compatibles con pérdida ósea con dimensiones de 6,61 x 2,05 x 1,88 centímetros (Figura 2).

Se decidió realizar la planificación 3D de la craneoplastia con la utilización de un software gratuito (Meshmixer V.3.5.474, InVesalius V3.1, Ultimaker Cura V.4.10.0), y se conformó la prótesis con material aloplástico de PMMA, además se comentó al paciente la oportunidad de reoperar en el mismo tiempo quirúrgico su órbita con el fin de corregir la distopia presente, sin embargo el paciente rechazó dicho procedimiento. Se continúa con la toma de mediciones en la reconstrucción isovolumétrica para obtener detalladamente el tamaño del defecto óseo así como la impresión 3D en resina de estereolitografía del cráneo en un tamaño 1:1, además se realizó la confección digital de prótesis craneal y posterior impresión en filamento de ácido poliláctico (PLA). Se realiza impresión con polivinil siloxano de la prótesis confeccionada con PLA, posteriormente se realiza el vaciado con cera para obtener modelo de trabajo, se continúa con la adaptación al defecto en la estereolitografía de resina y luego es llevado a la mufa donde se realiza el vaciado con PMMA para obtener la prótesis final (Figura 3).

Se realiza cirugía bajo anestesia general balanceada, procediendo al marcaje con líneas punteadas para el abordaje coronal, y aplicación de anestésico local con lidocaína al 2% y epinefrina 1:100 000 ppm. Tomando en consideración estructuras de importancia como los ramos temporales del nervio facial y la fascia temporal para evitar



Figura 1. Fotografía extraoral. A. Fotografía frontal. B. Fotografía lateral derecha. C. Fotografía lateral izquierda

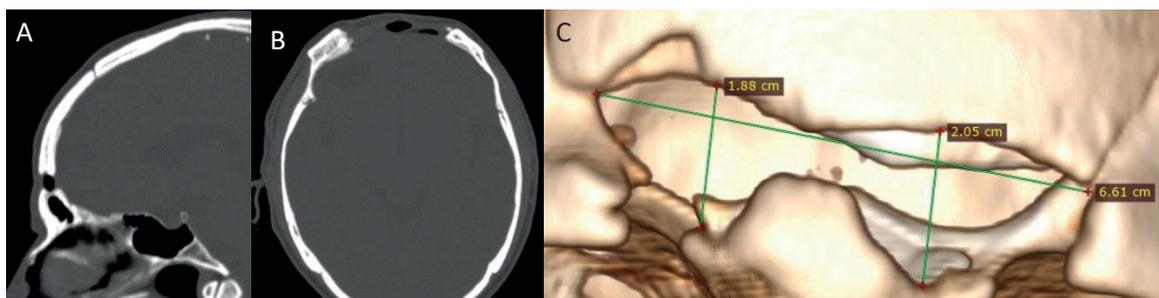


Figura 2. A. Corte sagital de tomografía donde se observa zona sugerente de pérdida de continuidad ósea. B. Corte axial de tomografía donde se observa zona sugerente de pérdida de continuidad ósea. C. Reconstrucción isovolumétrica donde se observa dimensiones de defecto óseo

un sangrado excesivo, se realiza la incisión en piel y tejido celular subcutáneo y galea, dejando el tejido conectivo areolar laxo por arriba del pericráneo, se continua la disección hasta localizar el defecto y se disecciona con precaución para no lesionar las meninges expuestas (Figura 4). Una vez visualizado el defecto se incide sobre el pericráneo para obtener un colgajo pericraneal, el cual es suturado al colgajo para su fácil manipulación, que se utilizará posteriormente en la desfuncionalización del seno frontal. Se verifica que no presente salida de líquido cefalorraquídeo mediante la maniobra de Valsalva y se procede a desfuncionalizar el seno frontal con la colocación del colgajo de pericráneo, se coloca y adapta la prótesis de PMMA previamente esterilizada con tecnología de esterilización por plasma^{18,19}, se adapta la prótesis y se fija con 3 tornillos del sistema 1,5 x 5 mm, uno en región central del hueso frontal y 2 en región supraciliar bilateralmente (Figura

5), se procede al cierre del acceso por planos dejando un drenaje tipo Penrose de 15 centímetros, por debajo del colgajo coronal obtenido en el plano subgaleal, fijado con seda negra 2-0 para evitar así la formación de hematomas (Figura 6A), se inicia terapia antibiótica con clindamicina 600 mg intravenoso cada 8 horas por 7 días y ceftriaxona 1 g intravenoso cada 12 horas por 10 días, así como la colocación de parche transdérmico de buprenorfina de 5 ug cada hora por 4 días.

Al tercer día de estancia hospitalaria postoperatoria se retira dren sin complicaciones, al cuarto día se decide alta de paciente por encontrarse hemodinámica y neurológicamente estable, la herida sin presencia de hematomas ni seromas, prótesis y puntos de sutura en posición y función, tolerando la vía oral, presentando mejoría. Se realizan controles a los 7 días y a las 8 semanas (Figura 6B y Figura 7), donde se observa buena cicatrización de

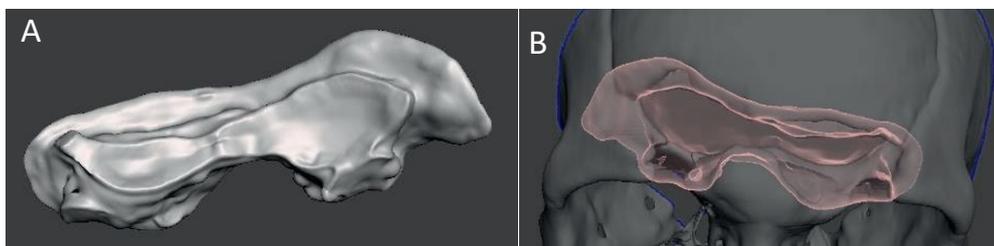


Figura 3. A. Prótesis digital confeccionada (vista posterior). B. Prótesis digital confeccionada (vista anterior)

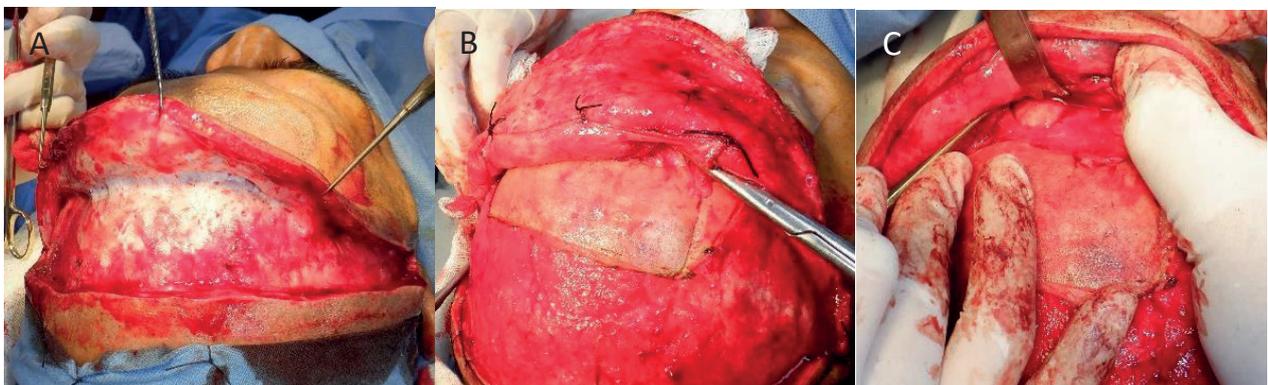


Figura 4. A. Abordaje coronal sin pericráneo. B. Confección de colgajo de pericráneo para cobertura y obliteración de seno frontal. C. Disección donde se aprecian las meninges



Figura 5. A. Estereolitografía de resina con prótesis en PMMA ya estériles en campo quirúrgico. B. Colocación y adaptación de prótesis de PMMA sobre defecto. C. Fijación de prótesis con tornillos del sistema 1,5 x 5 mm



Figura 6. A. Cierre de abordaje con dren tipo Penrose en posición.



Figura 6. B. Control a los 7 días



Figura 7. Fotografías de control a las 8 semanas. A. Vista frontal. B. Vista lateral derecha. C. Vista lateral izquierda

tejidos, sin datos de hematomas, con buena adaptación de prótesis y sin reacciones a la prótesis de PMMA utilizada, así como mejoría estética y de la sintomatología inicial la cual remitió por completo.

Discusión

Las prótesis personalizadas llegaron para revolucionar la práctica moderna de la medicina ²⁰. De manera similar el refinamiento de la tecnología de imágenes,

junto con la capacidad de poder producir implantes personalizados para cada paciente, ha conllevado a una proliferación de alternativas quirúrgicas sobre las tradicionales como lo son el uso de los implantes prefabricados. En los últimos 20 años, se ha evidenciado un avance notable de las técnicas para producir implantes personalizados para craneoplastia ²¹⁻²⁴. Una de las ventajas de los implantes prefabricados y diseñados por computadora es que ofrece un mejor resultado estético

así como un tiempo quirúrgico más corto para su colocación²⁵. Se han reportado diferentes técnicas para conformar implantes personalizados con precios reducidos, donde la mayoría de ellos usa la cabeza del paciente antes o durante la cirugía para la conformación de la prótesis^{26,28}. La tecnología de impresión 3D permite una producción rápida de objetos personalizados y tiene un potencial gigantesco en el campo médico particularmente para la planificación quirúrgica y producción de implantes²⁹. Con programas de modelamiento 3D computarizados y la información tomográfica del paciente, se puede diseñar un molde el cual se puede usar para dar forma a un cemento acrílico en un implante con buenos resultados³⁰.

En este estudio mostramos que es posible realizar un implante de bajo costo para craneoplastia usando una impresora 3D de fácil adquisición en conjunto con un cemento acrílico barato y ampliamente disponible como lo es el PMMA, además todos los programas que utilizamos son gratuitos y de libre descarga a través de internet. Los autores a pesar de no contar con entrenamiento especializado en la planificación 3D fueron capaces de diseñar y fabricar un molde y luego utilizarlo para fabricar el implante personalizado con buena adaptación en el defecto óseo del paciente.

En este estudio se muestra que es posible realizar un implante personalizado para craneoplastia de bajo costo con ayuda de una impresora 3D para los pacientes que así lo requieran. Esperamos que este trabajo impulse a otros para de esta manera permitir que los nuevos métodos para elaborar implantes personalizados lleguen a más pacientes permitiendo reconstruir defectos craneales y evitando la aparición de futuras secuelas y complicaciones.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por todo el apoyo.

Referencias bibliográficas

- Ghai S, Sharma Y, Jain N, Satpathy M, Pillai AK. Use of 3-D printing technologies in craniomaxillofacial surgery: a review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. Springer Verlag. 2018;22:249–59.
- Williams LR, Fan KF, Bentley RP. Custom-made titanium cranioplasty: Early and late complications of 151 cranioplasties and review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2015;44(5):599–608.
- Aciduman A, Belen D. The earliest document regarding the history of cranioplasty from the Ottoman era. *Surgical Neurology*. 2007;68(3):349–52.
- Guyuron B, Shafron M, Columbi B. Management of extensive and difficult cranial defects. Vol. 69, *J. Neurosurg*. 1988.
- Takumi I, Akimoto M. Catcher's mask cranioplasty for extensive cranial defects in children with an open head trauma: A novel application of partial cranioplasty. *Child's Nervous System*. 2008;24(8):927–32.
- Chen TM, Wang HJ. Cranioplasty using allogeneic perforated demineralized bone matrix with autogenous bone paste. *Ann Plast Surg*. 2002;49(3):272–7. DOI: 10.1097/0000637-200209000-00006.
- Leão R de S, Maior JRS, Lemos CA de A, Vasconcelos BC do E, Montes MAJR, Pellizzer EP, et al. Complications with PMMA compared with other materials used in cranioplasty: a systematic review and meta-analysis. *Braz Oral Res*. 2018 Jun 7;32:e31.
- Alkhaibary A, Alharbi A, Alnefaie N, Aloraidi A, Khairy S. Cranioplasty: A Comprehensive Review of the History, Materials, Surgical Aspects, and Complications. *World Neurosurg*. 2020;139:445–52.
- Las DE, Verwilghen D, Mommaerts MY. A systematic review of cranioplasty material toxicity in human subjects. *J Craniomaxillofac Surg*. 2021;49:34–46.
- Bjornson A, Tajsic T, Koliass AG, Wells A, Naushahi MJ, Anwar F, et al. A case series of early and late cranioplasty—comparison of surgical outcomes. *Acta Neurochirurgica*. 2019;161(3):467–72.
- Abd El-Ghani WMA. Cranioplasty with polymethyl methacrylate implant: solutions of pitfalls. *Egypt J Neurosurg*. 2018;33:7. DOI: 10.1186/s41984-018-0002-y
- Marchac D, Greensmith A. Long-term experience with methylmethacrylate cranioplasty in craniofacial surgery. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2008;61(7):744–52.
- Koliass AG, Kirkpatrick PJ, Hutchinson PJ. Decompressive craniectomy: Past, present and future. *Nat Rev Neurol*. 2013;9:405–15.
- Eppley BL. Biomechanical Testing of Alloplastic PMMA Cranioplasty Materials. *J Craniofac Surg*. 2005;16(1):140–3. DOI: 10.1097/00001665-200501000-00028.
- Huang GJ, Zhong S, Susarla SM, Swanson EW, Huang J, Gordon CR. Craniofacial reconstruction with poly(methyl methacrylate) customized cranial implants. *J Craniofac Surg*. 2015 Jan 21;26(1):64–70.
- Schubert C, van Langeveld MC, Donoso LA. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. *Br J Ophthalmol*. 2014 Feb;98(2):159–61. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2013-304446.
- Obregon F, Vaquette C, Ivanovski S, Huttmacher DW, Bertassoni LE. Three-Dimensional Bioprinting for Regenerative Dentistry and Craniofacial Tissue Engineering. *J Dent Res*. 2015 Sep 24;94:143S–152S.
- Sakudo A, Yagyu Y, Onodera T. Disinfection and sterilization using plasma technology: Fundamentals and future perspectives for biological applications. *Int J Mol Sci*. 2019 Oct 21;20(20):5216. DOI: 10.3390/ijms20205216.
- Boiano JM, Steege AL. Ethylene Oxide and Hydrogen Peroxide Gas Plasma Sterilization: Precautionary Practices in U.S. Hospitals. *Zentralsterilisation (Wiesb)*. 2015;23(4):262–268.
- Arnedos M, Soria JC, Andre F, Tursz T. Personalized treatments of cancer patients: A reality in daily practice, a costly dream or a shared vision of the future from the oncology community? *Cancer Treat*

- Rev. 2014 Dec;40(10):1192-8. DOI: 10.1016/j.ctrv.2014.07.002.
21. da Costa DD, Lajarin SF. Comparison of cranioplasty implants produced by machining and by casting in a gypsum mold. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2012;58(1-4):1-8.
 22. Dean D, Min K-J, Bond A. Original Articles Computer Aided Design of Large-Format Prefabricated Cranial Plates. *J Craniofac Surg.* 2003 Nov;14(6):819-32. DOI: 10.1097/00001665-200311000-00002.
 23. Gronet PM, Waskewicz GA, Richardson C. Preformed acrylic cranial implants using fused deposition modeling: A clinical report. *J Prosthet Dent.* 2003 Nov;90(5):429-33. DOI: 10.1016/j.prosdent.2003.08.023.
 24. Hieu LC, Bohez E, vander Sloten J, Phien HN, Vatcharaporn E, Binh PH, et al. Design for medical rapid prototyping of cranioplasty implants. *Rapid Prototyping J.* 2003;9(3):175-86.
 25. Hanasono MM, Goel N, DeMonte F. Calvarial reconstruction with polyetheretherketone implants. *Ann Plast Surg.* 2009;62(6):653-5. DOI: 10.1097/SAP.0b013e318184abc7.
 26. Sharavanan GM, Jayabalan S, Rajasukumaran K, Veerasekar G, Sathya G. Cranioplasty Using Presurgically Fabricated Presterilised Polymethyl Methacrylate Plate by a Simple, Cost-Effective Technique on Patients With and Without Original Bone Flap: Study on 29 Patients. *J Maxillofac Oral Surg.* 2015 Jun;14(2):378-85. DOI: 10.1007/s12663-014-0670-4.
 27. Kung WM, Lin MS. A simplified technique for polymethyl methacrylate cranioplasty: Combined cotton stacking and finger fracture method. *Brain Inj.* 2012;26(13-14):1737-42. DOI: 10.3109/02699052.2012.698361.
 28. Tan ETW, Ling JM, Dinesh SK. The feasibility of producing patient-specific acrylic cranioplasty implants with a low-cost 3D printer. *J Neurosurg.* 2016;124:1531-7. DOI: 10.3171/2015.5.JNS15119.
 29. Rengier F, Mehndiratta A, von Tengg-Kobligk H, Zechmann CM, Unterhinninghofen R, Kauczor HU, et al. 3D printing based on imaging data: Review of medical applications. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2010;5:335-41.
 30. Kim BJ, Hong KS, Park KJ, Park DH, Chung YG, Kang SH. Customized cranioplasty implants using three-dimensional printers and polymethyl-methacrylate casting. *J Korean Neurosurg Soc.* 2012 Dec;52(6):541-6. DOI: 10.3340/jkns.2012.52.6.541.