

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Uso de la impresión 3D en neurocirugía pediátrica: una revisión narrativa

Ariana Milagros Figueroa Chávez¹, Edita Rosaany Yamunaque Bustamante¹

¹Sub Unidad de Investigación e Innovación Tecnológica, Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja, Lima 15037, Perú.

RESUMEN

Objetivo: Analizar las aplicaciones de la impresión 3D en neurocirugía pediátrica, particularmente en la planificación preoperatoria, la simulación y entrenamiento quirúrgico, y la reconstrucción craneal mediante implantes personalizados.

Métodos: Se realizó una revisión narrativa de la literatura científica. La búsqueda se efectuó el 20 de enero de 2026 en las bases de datos PubMed, Scopus y Google Scholar, incluyendo estudios publicados entre 2016 y 2025 sin restricción de idioma. Se consideraron estudios sobre el uso de la impresión 3D en neurocirugía pediátrica. Se incluyeron estudios de desarrollo y validación técnica, series de casos y reportes de caso. En total se seleccionaron 5 estudios.

Resultados: Los estudios incluidos describieron aplicaciones de la impresión 3D en la planificación preoperatoria de deformidades vertebrales complejas y abordajes orbitarios, el desarrollo de simuladores anatómicos para entrenamiento en procedimientos mínimamente invasivos y la fabricación de implantes personalizados para la reconstrucción de defectos craneales.

Conclusiones: La impresión 3D tiene aplicaciones prometedoras en neurocirugía pediátrica para la planificación quirúrgica, la formación de cirujanos y la reconstrucción craneal personalizada. Sin embargo, su implementación puede verse limitada por requerimientos tecnológicos, costos y tiempos de fabricación.

Palabras clave: Impresión Tridimensional; Modelos Anatómicos; Neurocirugía; Pediatría; Procedimientos Neuroquirúrgicos (Fuente: DeCS)

Citar como:

Figueroa Chávez AM, Yamunaque Bustamante ER. Uso de la impresión 3D en neurocirugía pediátrica: una revisión narrativa. Investig Innov Clin Quir Pediatr. 2026;4(1):60-4. doi: 10.59594/iicqp.2026.v4n1.168

Autor correspondiente:

Ariana Milagros Figueroa Chávez
Teléfono: +51 968035068
Correo electrónico:
ariana.figueroa@pucp.edu.pe
ariana.figueroa@upch.pe

Use of 3D printing in pediatric neurosurgery: a narrative review

ABSTRACT

Objective: To analyze the applications of 3D printing in pediatric neurosurgery, particularly in preoperative planning, surgical simulation and training, and cranial reconstruction using customized implants.

Methods: A narrative review of the scientific literature was conducted. The search was performed on January 20, 2026, in the PubMed, Scopus, and Google Scholar databases, including studies published between 2016 and 2025 without language restriction. Studies on the use of 3D printing in pediatric neurosurgery were considered. Technical development and validation studies, case series, and case reports were included. A total of 5 studies were selected.


Results: The included studies described applications of 3D printing in the preoperative planning of complex spinal deformities and orbital approaches, the development of anatomical simulators for training in minimally invasive procedures, and the fabrication of customized implants for the reconstruction of cranial defects.

Conclusions: 3D printing has promising applications in pediatric neurosurgery for surgical planning, surgeon training, and personalized cranial reconstruction. However, its implementation may be limited by technological requirements, costs, and manufacturing times.


Keywords: Three-Dimensional Printing; Anatomical Models; Neurosurgery; Pediatrics; Neurosurgical Procedures (Source: MeSH)

ORCID iDs

Ariana Milagros Figueroa Chávez

 <https://orcid.org/0009-0000-1485-6641>

Edita Rosaany Yamunaque Bustamante

 <https://orcid.org/0009-0003-0588-5098>

Recibido : 06/02/2026

Aprobado : 16/03/2026

Publicado : 15/04/2026



Esta es una publicación con licencia de Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Copyright © 2026, Investigación e Innovación Clínica y Quirúrgica Pediátrica.

INTRODUCCIÓN

La impresión tridimensional (3D), también conocida como fabricación aditiva o prototipado rápido, ha experimentado un importante desarrollo desde su introducción en la década de 1980 con la técnica de estereolitografía. Esta tecnología permite fabricar objetos 3D mediante la deposición sucesiva de capas de material a partir de un modelo digital, lo que ha ampliado significativamente sus aplicaciones en múltiples campos, incluida la medicina (1).

En el ámbito clínico, la impresión 3D permite transformar imágenes médicas obtenidas mediante tomografía computarizada o resonancia magnética en modelos anatómicos físicos específicos para cada paciente. Este proceso incluye la adquisición de imágenes, la segmentación y reconstrucción 3D, la preparación del modelo digital y su posterior fabricación mediante distintas técnicas de impresión. De esta manera, es posible reproducir con gran fidelidad la anatomía del paciente, lo que permite nuevas aplicaciones en el diagnóstico, la planificación quirúrgica y la educación médica (2).

El desarrollo de diversas tecnologías de impresión, como el modelado por deposición fundida, la estereolitografía y la sinterización selectiva por láser, ha permitido mejorar la precisión de los modelos y ampliar la gama de materiales utilizados. Estos avances, junto con la reducción de costos y el aumento en la disponibilidad de impresoras, han favorecido la expansión del uso de la impresión 3D en múltiples especialidades médicas y quirúrgicas (3).

En particular, la neurocirugía ha experimentado un aumento significativo en la aplicación de esta tecnología. Las patologías neuroquirúrgicas suelen involucrar estructuras anatómicas complejas y de difícil visualización mediante imágenes bidimensionales. En este contexto, los modelos anatómicos impresos en 3D permiten representar de manera tangible la anatomía del paciente, facilitando la comprensión espacial de las estructuras involucradas y contribuyendo a una planificación quirúrgica más precisa. Diversos estudios han señalado que esta tecnología puede mejorar la visualización anatómica, apoyar la toma de decisiones preoperatorias y optimizar la ejecución de procedimientos neuroquirúrgicos complejos (4).

Además de la planificación quirúrgica, la impresión 3D se ha utilizado en la formación médica, el desarrollo de simuladores quirúrgicos y la fabricación de dispositivos personalizados. Revisiones recientes han descrito aplicaciones en diferentes subespecialidades de la neurocirugía, incluyendo cirugía de columna, patología neurovascular, neurooncología, neuroendoscopia y craneoplastia. Estas aplicaciones han demostrado contribuir a mejorar la precisión de los procedimientos, favorecer la personalización del tratamiento y facilitar el entrenamiento de cirujanos y residentes (5).

Dentro de estas aplicaciones, la cirugía de columna representa uno de los campos donde la impresión 3D ha mostrado beneficios relevantes. En pacientes con deformidades espinales, como la escoliosis congénita, la colocación de tornillos pediculares constituye un procedimiento técnicamente complejo debido a las alteraciones anatómicas de las vértebras

y al riesgo de mala colocación cuando se utilizan técnicas convencionales. En este contexto, el uso de modelos impresos en 3D y plantillas de navegación ha demostrado mejorar la precisión en la colocación de tornillos pediculares y aumentar la seguridad del procedimiento quirúrgico (6). Asimismo, revisiones sistemáticas han destacado que la impresión 3D permite mejorar la comprensión de procesos patológicos complejos, facilitar la planificación preoperatoria y apoyar el diseño de guías quirúrgicas e implantes personalizados en cirugía espinal (7).

Las aplicaciones de esta tecnología también han adquirido una importancia creciente en la población pediátrica. Los pacientes pediátricos presentan características anatómicas particulares asociadas al crecimiento y desarrollo, lo que implica una mayor variabilidad morfológica y la necesidad de enfoques terapéuticos altamente individualizados. En este contexto, la impresión 3D permite la creación de modelos anatómicos personalizados que se adaptan a las necesidades específicas de cada paciente, lo que resulta especialmente útil en patologías raras o complejas que requieren una planificación quirúrgica detallada (8).

Una de las patologías pediátricas en las que la impresión 3D ha demostrado especial utilidad es la craneosinostosis, una condición caracterizada por la fusión prematura de una o más suturas craneales, que puede producir deformidades craneales y afectar el crecimiento cerebral. Debido a que el tratamiento de esta patología requiere intervenciones quirúrgicas altamente individualizadas, los modelos anatómicos impresos en 3D permiten reproducir la anatomía del paciente y facilitar la planificación de osteotomías y remodelaciones craneales (9).

Diversos estudios han demostrado que los modelos impresos a partir de imágenes de tomografía computarizada pueden reproducir adecuadamente la anatomía craneal del paciente y servir como herramientas útiles para la planificación quirúrgica. En particular, se ha reportado el uso de modelos impresos en materiales como el acrilonitrilo butadieno estireno, que presentan propiedades mecánicas similares al tejido óseo y permiten simular procedimientos quirúrgicos antes de su realización en el paciente (10). Asimismo, el uso de herramientas de planificación 3D basadas en diseño y manufactura asistidos por computadora ha permitido mejorar la precisión de los cortes óseos, optimizar el posicionamiento de los segmentos craneales y contribuir a mejores resultados quirúrgicos en procedimientos de reconstrucción craneal (11).

Además de su utilidad en la planificación quirúrgica, la impresión 3D también ha demostrado beneficios en la formación médica y en la comunicación entre el equipo médico y los pacientes o sus familias. Los modelos anatómicos físicos pueden utilizarse como herramientas educativas que facilitan la comprensión de la anatomía, la patología y el procedimiento quirúrgico propuesto, lo que contribuye a mejorar el proceso de asesoramiento preoperatorio y el consentimiento informado, especialmente en el contexto pediátrico (8).

A pesar del crecimiento en el uso de esta tecnología en diferentes áreas quirúrgicas, la evidencia científica

disponible aún presenta limitaciones. Muchos de los estudios publicados corresponden a revisiones de literatura, estudios observacionales o series de casos con tamaños de muestra reducidos, lo que dificulta la comparación entre resultados y la evaluación sistemática de los beneficios clínicos de la impresión 3D en distintos contextos neuroquirúrgicos (7).

En este contexto, resulta necesario analizar de manera estructurada la evidencia disponible sobre el uso de la impresión 3D en neurocirugía pediátrica. Por ello, el objetivo de la presente revisión es sintetizar la evidencia científica existente sobre las aplicaciones de la impresión 3D en este campo.

MÉTODOS

Se realizó una revisión narrativa de la literatura científica. La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en las bases de datos PubMed, Scopus y Google Scholar.

Se utilizaron términos MeSH y palabras clave relacionadas con la impresión 3D y la neurocirugía pediátrica; además, se usaron operadores booleanos como AND y OR adaptando la estrategia según cada base de datos: ("3D printing" OR "three-dimensional printing" OR "additive manufacturing" OR "rapid prototyping") AND (neurosurgery OR neurosurgical OR "brain surgery" OR "cranial surgery" OR "skull base surgery") AND (pediatric OR paediatric OR child OR children OR infant)).

Se incluyeron estudios publicados entre 2016 y 2025 que informaran aspectos del uso de la impresión 3D en procedimientos de neurocirugía en pacientes pediátricos menores de 18 años de edad. Se consideraron diferentes tipos de diseños de estudio, incluyendo artículos originales experimentales o de desarrollo tecnológico, reportes de caso y series de casos, sin restricción de idioma. Por otro lado, se excluyeron estudios que abordaran población adulta y pediátrica sin análisis independiente, estudios de revisión y estudios cuyo texto completo no pudo ser recuperado.

Se identificaron los registros obtenidos a partir de las bases de datos seleccionadas. Tras eliminar los registros duplicados, dos revisores evaluaron de manera independiente los títulos y resúmenes de los artículos identificados para determinar su elegibilidad inicial. Posteriormente, se buscó el acceso al texto completo de los estudios potencialmente relevantes. Aquellos artículos para los cuales no se logró obtener el texto completo fueron excluidos. Los estudios con acceso disponible fueron evaluados a texto completo para confirmar su elegibilidad. De cada estudio incluido se extrajo información relacionada con la planificación preoperatoria, simulación y entrenamiento, así como las aplicaciones reconstructivas mediante el uso de la impresión 3D.

La búsqueda arrojó un total de 71 estudios el 20 de enero de 2026 mediante la estrategia referida. Posteriormente, se eliminaron 18 estudios duplicados. De esta manera, en la fase de revisión de los 53 estudios, se identificaron 22 estudios potencialmente útiles por título y resumen. Finalmente, únicamente 5 estudios contaban con texto completo disponible y fueron incluidos (Figura 1).

El estudio no requirió aprobación ética, dado que se basó exclusivamente en literatura publicada y no involucró participantes humanos.

RESULTADOS

Planificación preoperatoria mediante modelos 3D

La impresión 3D se ha utilizado como herramienta para mejorar la comprensión anatómica y facilitar la planificación quirúrgica en casos complejos.

Facco *et al.* (12) describieron su uso para la planificación quirúrgica en 4 pacientes pediátricos con deformidades vertebrales complejas, incluyendo casos de escoliosis severa. Los modelos se generaron a partir de tomografías computarizadas y fueron impresos en material termoplástico. Cada modelo requirió aproximadamente 5 horas de preparación digital y alrededor de 108 horas para la impresión, con un costo aproximado de 180 euros por cada modelo. Los autores reportaron que estos modelos permitieron una mejor comprensión de la anatomía deformada, facilitaron la planificación quirúrgica y contribuyeron a la selección más precisa del tamaño de los implantes.

De manera similar, Sulin *et al.* (13) reportaron el uso de la impresión 3D para la planificación de un abordaje mínimamente invasivo en un adolescente con tumor orbital. A partir de resonancias magnéticas se generó un modelo de la región frontoorbitaria, la base del cráneo anterior, el globo ocular y el tumor. Este modelo permitió planificar el acceso quirúrgico y orientar la resección tumoral. Tras la intervención lograron la resección completa del tumor y se observó mejoría clínica de los síntomas visuales, lo que sugiere que el modelado 3D podría constituir una herramienta complementaria para optimizar la planificación quirúrgica y facilitar la navegación y previsualización intraoperatoria.

Simulación y entrenamiento quirúrgico

Otra aplicación relevante de la impresión 3D corresponde al desarrollo de modelos anatómicos para entrenamiento quirúrgico y simulación de procedimientos.

London *et al.* (14) desarrollaron un modelo 3D impreso de la base del cráneo pediátrica con el objetivo de evaluar su utilidad como herramienta de entrenamiento para procedimientos endoscópicos endonasales. En el estudio participaron 28 profesionales. Los participantes reportaron que el modelo presentaba un nivel adecuado de realismo anatómico y háptico, con puntuaciones cercanas a 7 en una escala de 0–10, evaluado mediante cuestionarios. Los resultados indican que estos modelos pueden contribuir a la adquisición de experiencia en las limitaciones anatómicas características de la base de cráneo pediátrica, especialmente en contextos donde los casos clínicos son poco frecuentes.

En una línea similar, Weinstock *et al.* (15) desarrollaron un simulador altamente realista para ventriculostomía endoscópica del tercer ventrículo mediante la combinación de impresión 3D y técnicas de efectos especiales utilizadas en la industria cinematográfica. El modelo reprodujo estructuras anatómicas internas, pulsaciones vasculares y dinámica del líquido cefalorraquídeo, permitiendo la práctica repetitiva

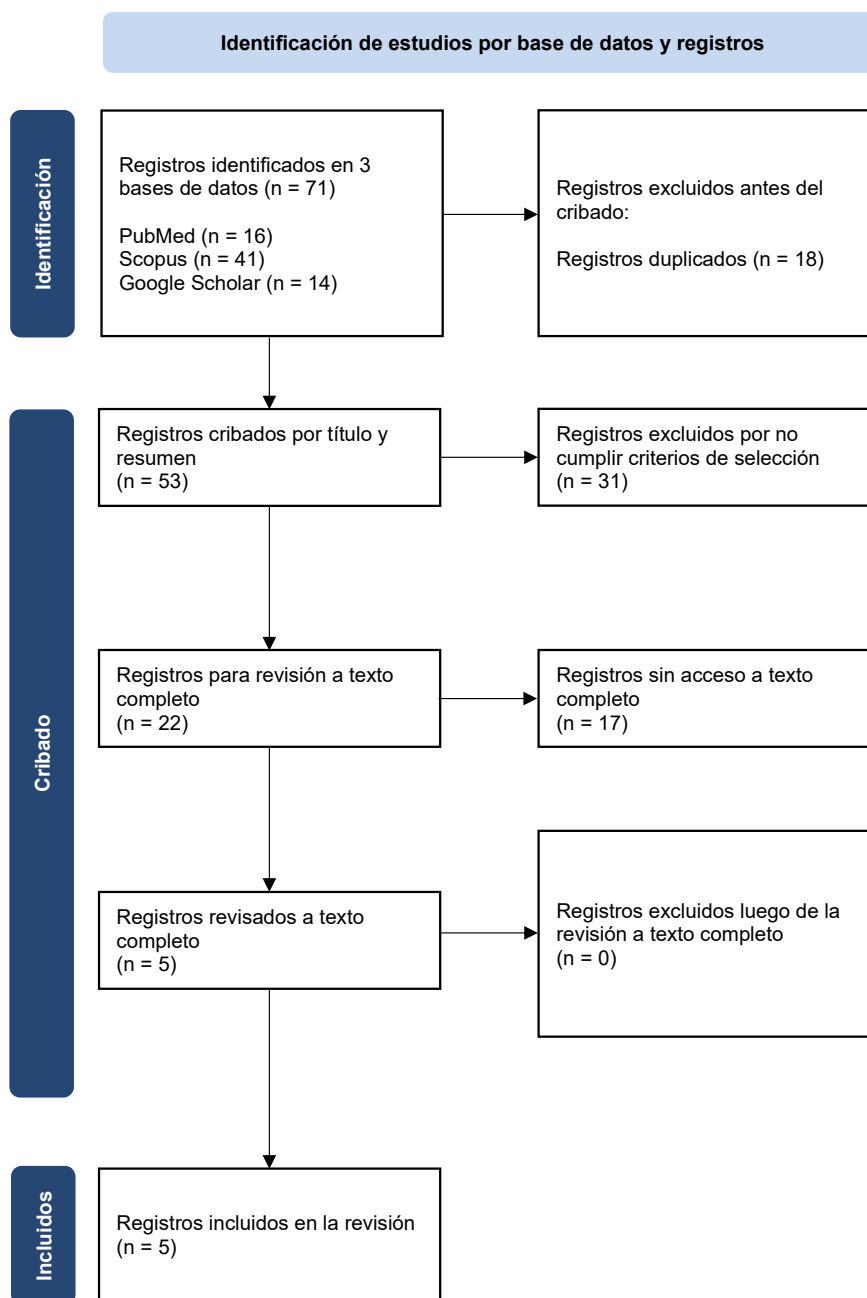


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios

del procedimiento mediante componentes reemplazables. La validación del modelo mediante cuestionarios y evaluación estructurada de habilidades técnicas mostró altas puntuaciones de validez de contenido y apariencia, además de permitir diferenciar el desempeño entre residentes y especialistas, lo que respalda su utilidad como herramienta de entrenamiento quirúrgico.

Reconstrucción craneal mediante implantes personalizados

La impresión 3D también ha sido aplicada en la fabricación de implantes personalizados para la reparación de defectos craneales en pacientes pediátricos.

Sulin et al. (16) describieron la experiencia de un centro de neurocirugía pediátrica en la utilización de estas tecnologías para fabricar implantes personalizados destinados al cierre de defectos craneales de diferentes etiologías, dimensiones y niveles de complejidad. Los autores señalaron que su uso permite diseñar implantes adaptados a la anatomía específica del paciente, lo que puede mejorar la precisión reconstructiva. Asimismo, discutieron ventajas relacionadas con la personalización de los implantes, así como limitaciones vinculadas a los requerimientos tecnológicos y al proceso de fabricación. Entre las ventajas descritas se incluyen la capacidad de reparar defectos craneales grandes y complejos,

el bajo riesgo de complicaciones infecciosas, la alta resistencia mecánica y la posibilidad de utilizarse en defectos de distintos espesores óseos. Además, los autores reportaron una mayor accesibilidad tecnológica, ya que el software de diseño es cada vez más intuitivo y no requiere formación especializada en ingeniería. Por otro lado, las limitaciones incluyen una reducida velocidad de fabricación, disminución de la calidad y precisión al intentar acelerar el proceso y el limitado uso en situaciones de cirugía de emergencia.

CONCLUSIÓN

Los estudios incluidos muestran que la impresión 3D tiene múltiples aplicaciones en el campo de la neurocirugía pediátrica. Las principales utilidades descritas corresponden a la planificación quirúrgica en casos anatómicamente complejos, la simulación y entrenamiento en procedimientos neuroquirúrgicos y la reconstrucción craneal mediante implantes personalizados.

Los resultados sugieren que estas tecnologías pueden contribuir a mejorar la comprensión anatómica, optimizar la preparación quirúrgica y fortalecer los procesos de formación quirúrgica; sin embargo, su implementación puede verse limitada por requerimientos tecnológicos, costos y tiempos de fabricación, especialmente en contextos que requieren intervenciones urgentes.

Contribuciones de autoría

AMFC: conceptualización, revisión de la literatura, redacción del manuscrito original.

ERYB: revisión de la literatura, redacción, supervisión, revisión y edición del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores no tienen intereses financieros o no financieros relevantes que declarar.

Financiamiento

El presente estudio no recibió financiamiento externo.

Disponibilidad de datos

Los datos extraídos y las tablas elaboradas para esta revisión están disponibles previa solicitud al autor corresponsal.

Uso de inteligencia artificial

Se utilizó la herramienta de inteligencia artificial ChatGPT (OpenAI) como apoyo en la redacción y edición del manuscrito. El contenido final fue revisado y validado por las autoras, quienes asumen plena responsabilidad por su integridad y exactitud. El uso de esta herramienta no constituye autoría.

Aspectos éticos

Esta revisión se basó exclusivamente en el análisis de estudios previamente publicados y no involucró la recolección de datos primarios ni la interacción directa con participantes humanos. Por lo tanto, no fue necesaria la aprobación por un Comité Institucional de Ética en Investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cao J, Zhang X, Liu H, Yao Z, Bai Y, Guo D, et al. 3D printed templates improve the accuracy and safety of pedicle screw placement in the treatment of pediatric congenital scoliosis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):1014. doi: 10.1186/s12891-021-04892-4
- Nallet J, Hild O, Chaussy Y. The Role of 3D Printing in Pediatric Surgical Care: A Narrative Review. *Cureus*. 2025;17(9):e91839. doi: 10.7759/cureus.91839
- Yang A, Panchendrabose K, Leong C, Raza SS, Joharifard S. The utility of three-dimensional modeling and printing in pediatric surgical patient and family education: a systematic review. *3D Print Med*. 2024;10(1):1. doi: 10.1186/s41205-023-00198-4
- Cheng D, Yuan M, Perera I, O'Connor A, Evins AI, Imahiyerobo T, et al. Developing a 3D composite training model for cranial remodeling. *J Neurosurg Pediatr*. 2019;24(6):632-41. doi: 10.3171/2019.6.PEDS18773
- Jiménez Ormabera B, Díez Valle R, Zaratiegui Fernández J, Llorente Ortega M, Unamuno Iñurritegui X, Tejada Solís S. Impresión 3D en neurocirugía: modelo específico para pacientes con craneosinostosis. *Neurocirugía*. 2017;28(6):260-5. doi: 10.1016/j.neucir.2017.05.001
- Gómez Pimentel P, Martínez Zerón V, Ponce de León FC, Gordillo Domínguez LF. Planificación Quirúrgica con Modelos 3D en Craneosinostosis Compleja: Un Caso Clínico. *Cienc Lat Rev Científica Multidiscipl*. 2025;9(3):10431-41. doi: 10.37811/cl_rcm.v9i3.18769
- Katiyar P, Boddapati V, Coury J, Roye B, Vitale M, Lenke L. Three-Dimensional Printing Applications in Pediatric Spinal Surgery: A Systematic Review. *Glob Spine J*. 2024;14(2):718-30. doi: 10.1177/21925682231182341
- Łajczak PM, Józwick K, Jaldin Torrico C. Current Applications of the Three-Dimensional Printing Technology in Neurosurgery: A Review. *J Neurol Surg Part Cent Eur Neurosurg*. 2025;86(3):304-20. doi: 10.1055/a-2389-5207
- Dzierżanowska N, Krakowiak M, Sokal P, Myszkowska B. The application of 3D printing in neurosurgery: present and future. *Eur J Transl Clin Med*. 2023;6(1):70-8. doi: 10.31373/ejtc/158565
- Martínez Quiñones JV, Orduna Martínez J, Pinilla Arias D, Bernal Lecina M, Consolini Rossi F, Arregui Calvo R. Systematic review of the utility and limits of 3D printing in spine surgery. *Neurocir Engl Ed*. 2024;35(1):30-40. doi: 10.1016/j.neucie.2023.07.003
- Randazzo M, Pisapia JM, Singh N, Thawani JP. 3D printing in neurosurgery: A systematic review. *Surg Neurol Int*. 2016;7:S801-9. doi: 10.4103/2152-7806.194059
- Facco G, Palmisani R, Perialisi M, Forcellese A, Martiniani M, Specchia N, et al. Case series of four complex spinal deformities: new frontiers in pre-operative planning. *Acta Biomed*. 2022;93(5):e2022221. doi: 10.23750/abm.v93i5.12839
- Sulin KA, Ivanov VP, Kim AV, Khachatryan VA, Samochernykh KA. [3D modeling for planning of minimally invasive approach to the orbit]. *Zh Vopr Neurokhir Im N N Burdenko*. 2022;86(2):103-8. doi: 10.17116/neiro202286021103
- London NR, Rangel GG, VanKoeveering K, Zhang A, Powell AR, Prevedello DM, et al. Simulation of Pediatric Anterior Skull Base Anatomy Using a 3D Printed Model. *World Neurosurg*. 2021;147:e405-10. doi: 10.1016/j.wneu.2020.12.077
- Weinstock P, Rehder R, Prabhu SP, Forbes PW, Roussin CJ, Cohen AR. Creation of a novel simulator for minimally invasive neurosurgery: fusion of 3D printing and special effects. *J Neurosurg Pediatr*. 2017;20(1):1-9. doi: 10.3171/2017.1.PEDS16568
- Sulin KA, Ivanov VP, Kim AV, Khachatryan VA. [Skull defect repair in children using a 3D-printing technology]. *Zh Vopr Neurokhir Im N N Burdenko*. 2020;84(6):67-75. doi: 10.17116/neiro20208406167