



Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología

ISSN: 1852-7434

publicaciones@aaot.org.ar

Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología
Argentina

Lombardo, Ernesto; Velez, Manuel; Verger, Sergio
Resección de osteoma osteoide vertebral asistida por planificación 3D. Presentación de un caso

Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología, vol. 87, núm. 3, 2022, Mayo-Junio, pp. 378-386
Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología
Argentina

DOI: <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2022.87.3.1206>

- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

Resección de osteoma osteoide vertebral asistida por planificación 3D.

Presentación de un caso

Ernesto Lombardo, Manuel Velez, Sergio Verger

Servicio de Ortopedia y Traumatología, Hospital de Emergencias "Dr. Clemente Álvarez", Rosario, Santa Fe, Argentina

RESUMEN

La localización vertebral de una lesión compatible con un osteoma osteoide requiere, muchas veces, su resección en bloque marginal mediante cirugía. El objetivo de este artículo es informar sobre el uso de la tecnología en impresión 3D para desarrollar guías de corte y así lograr una resección segura y completa de un osteoma osteoide de L1. Presentamos a un varón de 13 años, operado de un osteoma osteoide de L1 y detallamos la planificación preoperatoria con asistencia de la tecnología 3D, la técnica quirúrgica mediante guías de corte impresas y un modelo real de la columna lumbar y el control posoperatorio. **Conclusiones:** Ante la indicación de cirugía para una lesión compatible con osteoma osteoide en la columna debe decidirse entre la posibilidad de resección intralesional abierta o percutánea y la resección marginal en bloque. Para localizar la lesión durante la cirugía, se utilizan diferentes métodos. En nuestro Servicio, estamos utilizando la tecnología 3D para la planificación preoperatoria de múltiples enfermedades traumáticas agudas y las secuelas. Esto nos permite una mayor precisión y seguridad en la identificación de los márgenes de resección intraoperatoria, reduciendo, al mínimo, la extracción de tejidos sanos y evitando la inestabilidad posoperatoria.

Palabras clave: Osteoma osteoide; resección en bloque; impresión 3D.

Nivel de Evidencia: IV

Resection of Spinal Osteoid Osteoma Assisted by 3D Planning. Case Report

ABSTRACT

The vertebral location of a lesion compatible with an osteoid osteoma often requires a marginal en bloc resection. Our objective is to present the use of 3D printing technology for the development of specific cutting guides that achieve a safe and complete resection of an L1 osteoid osteoma. We present the case of a 13-year-old male who underwent surgery for an L1 osteoid osteoma, detailing the preoperative planning assisted by 3D technology, the surgical technique using 3D printed cutting guides, a real model of the lumbar spine, and the postoperative control. **Conclusion:** Before the surgical indication of a lesion compatible with an osteoid osteoma in the spine, we must decide between the possibility of an open intralesional resection or percutaneous and marginal en bloc resection. Different methods can be used for the intraoperative location of the lesion. In our department, we use 3D technology for preoperative planning of multiple acute and post-traumatic pathologies. This allows us to be precise and safe in the identification of intraoperative resection margins, minimizing the removal of healthy tissues and avoiding postoperative instability.

Key words: Osteoid osteoma; en bloc resection; 3D printing technology.

Level of Evidence: IV

INTRODUCCIÓN

El osteoma osteoide es un tumor óseo benigno descrito por Jaffe, en 1935.¹ Representa el 3% de todos los tumores óseos y el 10-12% de los benignos. Se manifiesta en la segunda década de vida y afecta principalmente a los huesos largos (en gran medida, miembros inferiores). El 10-25% de los casos tiene compromiso de la columna vertebral y, en el 70-100%, afecta los elementos posteriores. Se caracteriza por un nido de tejido osteoide, osteoblastos y estroma fibrovascular rodeado por hueso esclerótico; en general, mide <1,5 cm de diámetro.²

Recibido el 22-9-2020. Aceptado luego de la evaluación el 28-8-2021 • Dr. ERNESTO LOMBARDO • elombardo74@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0003-3600-628X>

Cómo citar este artículo: Lombardo E, Velez M, Verger S. Resección de osteoma osteoide vertebral asistida por planificación 3D. Presentación de un caso. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol* 2022;87(3):378-386. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2022.87.3.1206>

En el raquis, la presentación característica es el dolor local (relacionado con el aumento de prostaglandinas E2), predominantemente nocturno, que puede acompañarse de rigidez segmentaria (89%), escoliosis antálgica (60-70%) y, en casos excepcionales, déficit neurológico. El dolor suele responder al tratamiento con agentes antiinflamatorios no esteroides (AINE) y al ácido acetilsalicílico.^{3,4}

El diagnóstico se confirma con una tomografía computarizada (TC) que muestra típicamente una zona hipodensa rodeada de hueso esclerótico. La resonancia magnética en secuencias T2 muestra una imagen hipointensa rodeada de variable edema y la administración de gadolinio genera un refuerzo alrededor del nido. El centellograma es invariablemente positivo y permite localizar la lesión hipercaptante en pacientes con una presunta lesión.⁵

Se indica la extirpación de la lesión si fracasa el tratamiento conservador o ante la posibilidad de estructuración de una escoliosis antálgica.⁶

La resección quirúrgica de la lesión se recomienda si hay una sospecha clínica o de los estudios por imágenes de un osteoma osteoide vertebral con un nido muy próximo a las estructuras neurológicas (<6 mm) o la ausencia de una cortical que proteja el canal vertebral. Sin duda, la dificultad más importante es la localización intraoperatoria de la lesión.

En nuestro Servicio, hemos ganado experiencia con la planificación e impresión en 3D. Esta tecnología nos permite localizar y visualizar, en forma precisa, la lesión y, de esta manera, imprimir guías de corte específicas que se adapten estrechamente a la anatomía del hueso por resecar. Es una forma económica y segura de poder delimitar la resección ósea reduciendo, al mínimo, el daño de las estructuras adyacentes.

El objetivo de este artículo es informar sobre el uso de la tecnología en impresión 3D para desarrollar guías de corte en un caso de osteoma osteoide de L1 para lograr una resección segura y completa de la lesión reduciendo, al mínimo, la resección ósea para disminuir el riesgo de inestabilidad posoperatoria.

CASO CLÍNICO

Varón de 13 años que consultó por dolor lumbar alto paravertebral izquierdo de tres meses de evolución, a predominio nocturno, constante, que mejoraba con AINE y reaparecía al suspenderlos. En las radiografías, se observaba una escoliosis a nivel de T11-L3 y una esclerosis del pedículo de L1 izquierdo (Figura 1).

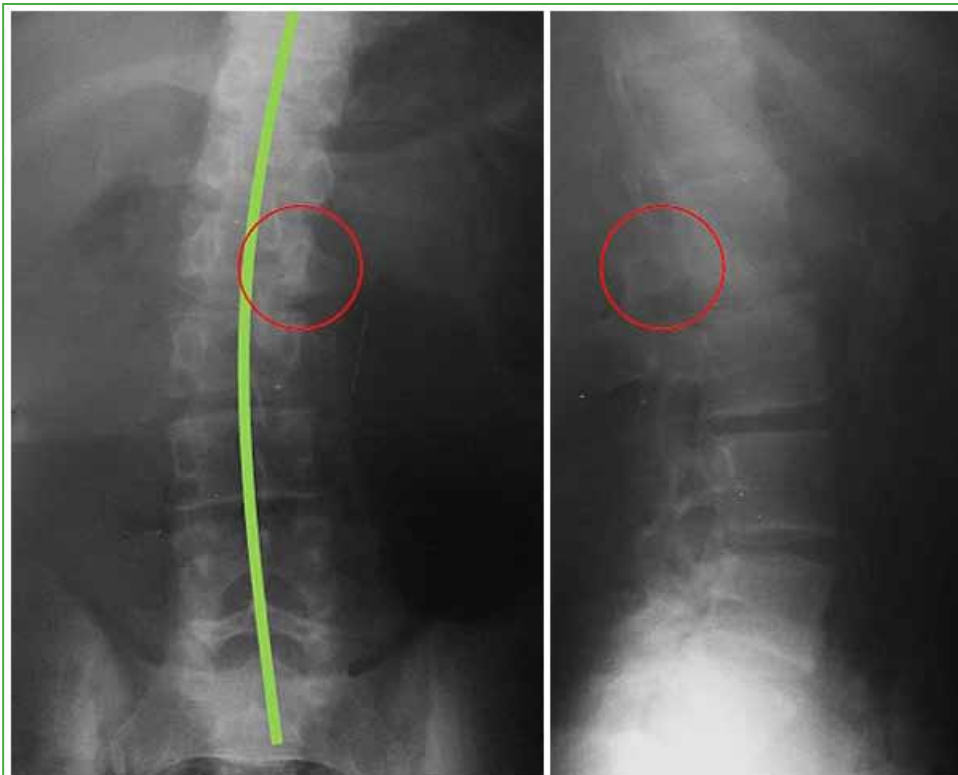


Figura 1. Radiografías de columna lumbar, de frente y de perfil. Obsérvense la escoliosis antálgica en el plano coronal y la esclerosis focal en el pedículo izquierdo de L1.

El paciente concurre con una resonancia magnética que mostraba edema del pedículo izquierdo, de la región posterior del cuerpo de L1 y de los elementos posteriores, y una lesión hipointensa que hacía sospechar un tumor óseo (Figura 2).



Figura 2. Resonancia magnética, cortes coronal y sagital. Se visualiza una lesión hipointensa y edema localizado del pedículo izquierdo, de la región posterior del cuerpo de L1 y de los elementos posteriores.

Se solicitó una TC que reveló el nido típico hipodenso con esclerosis alrededor en el borde anterior de la pars de L1, con adelgazamiento de la cortical anterior próxima al canal vertebral, un diámetro de 1,1 cm y un margen <6 mm con respecto a la duramadre (Figura 3).

Los médicos del Servicio de Neurorradiología recomendaron la resección en bloque de la lesión, ya que la proximidad de los elementos neurales contraindicaba la ablación por radiofrecuencia o láser.

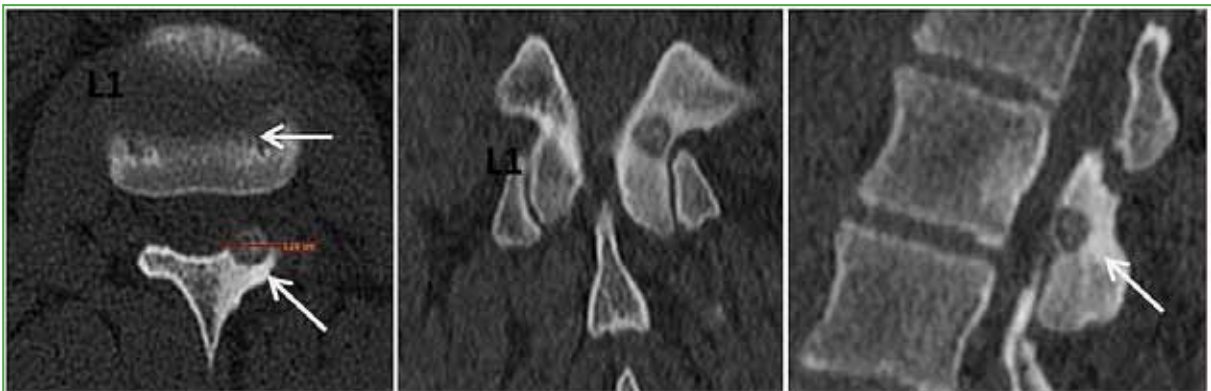


Figura 3. Tomografía computarizada multicorte de columna lumbar, cortes axial, coronal y sagital. Imagen hipointensa, osteolítica redondeada en el borde anterior de la pars de L1 de 12 mm de diámetro con esclerosis periférica de 30 mm, con adelgazamiento de la cortical anterior próximo al canal vertebral.

Planificación preoperatoria

Para poder localizar, de forma precisa, la lesión, resecarla con márgenes de seguridad y reducir, al mínimo, los daños a las estructuras adyacentes, recurrimos a la planificación e impresión 3D.

Se realizó una TC multicorte, con cortes finos (<1 mm) de columna lumbar alta focalizada en L1. Los datos de la TC se guardaron en un formato estándar (DICOM) y fueron volcados en un programa específico, y se obtuvo la imagen tridimensional del área de interés. Mediante la manipulación de estas imágenes, se logra localizar y delimitar la lesión (Figura 4).

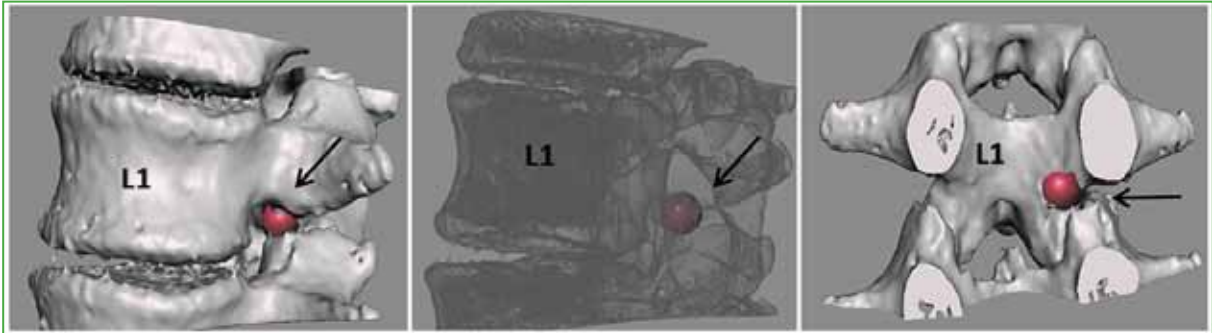


Figura 4. La manipulación 3D de la zona de interés permite marcar y delimitar la lesión.

Para precisar la resección del tumor y evitar la lesión de estructuras sanas adyacentes, se planificaron tres planos de osteotomías marginales a la lesión. Un plano de osteotomía que pasaba caudal al tumor, proximal a la articulación L1-L2; otro plano superior, oblicuo, distal a la articulación D12-L1, inmediatamente inferior al pedículo de L1, y un tercer plano de osteotomía tangencial a los otros dos planos (Figura 5). De esta manera, se trata de limitar la resección ósea y así evitar la inestabilidad posoperatoria.

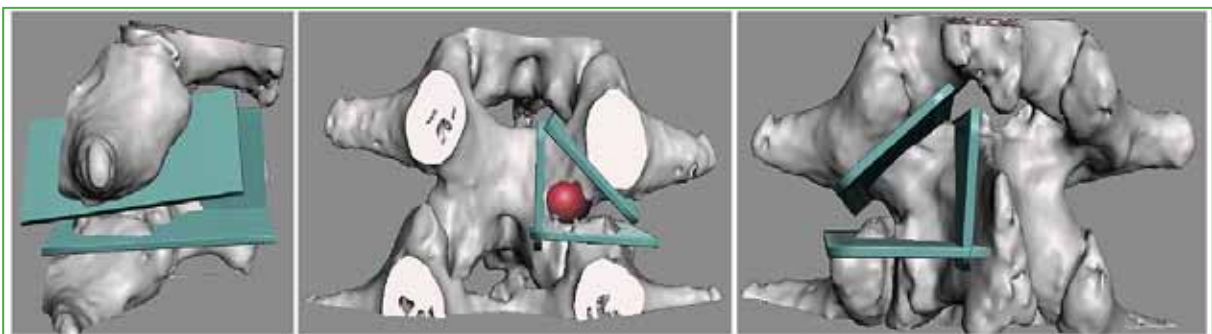


Figura 5. Determinación y marcación de los planos de osteotomía marginales a la lesión. *Plano caudal:* por encima de la articulación L1-L2. *Plano medial:* paralelo a la apófisis espinosa. *Plano cefálico:* tangencial a los anteriores por debajo de la articulación D12-L1.

Una vez determinados los planos de la osteotomía, se diseñó e imprimió en 3D una guía plástica con los tres planos de corte bien delimitados. Esta guía se adapta estrechamente a la anatomía de la apófisis espinosa de L1 del paciente (Figura 6).

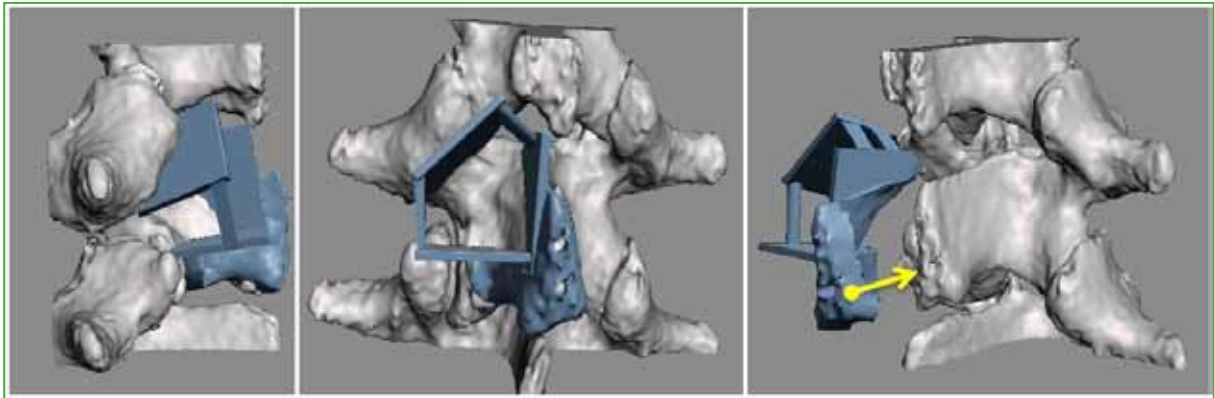


Figura 6. Diseño de la guía específicamente adaptada a la apófisis espinosa de L1 del paciente, con los planos de osteotomía marcados.

De este modo, se tiene una referencia anatómica del lugar donde colocar la guía de corte y así se asegura la correcta dirección de los planos de osteotomía.

Se imprimió también un modelo real de la columna del paciente para poder delimitar la lesión de una manera tangible y, a su vez, para optimizar la orientación espacial del área quirúrgica (Figura 7).

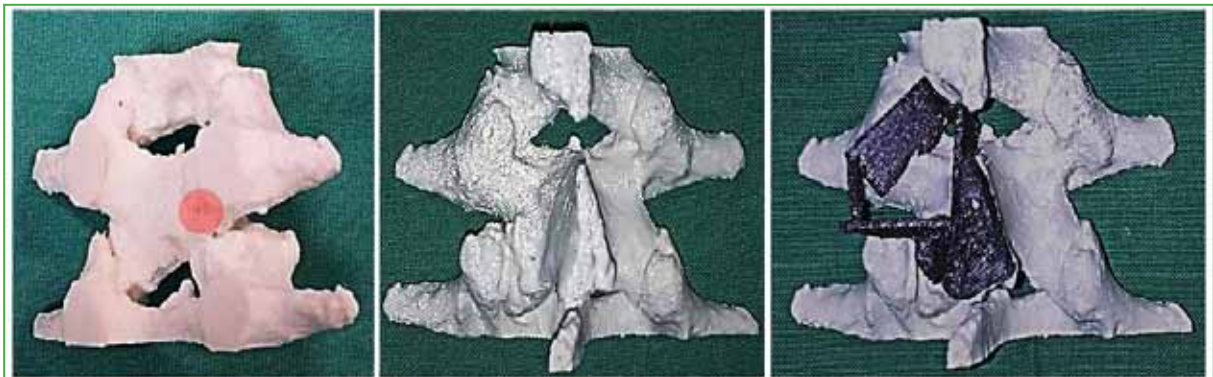


Figura 7. Diseño de la guía específicamente adaptada a la apófisis espinosa de L1 del paciente, con los planos de osteotomía marcados.

Procedimiento quirúrgico

Con el paciente bajo anestesia general, en decúbito prono, se realizó un abordaje posterior mediano sobre la gotera muscular paravertebral izquierda hasta el plano óseo; se identificó el nivel con intensificador de imágenes marcando la apófisis espinosa de L1 que fue el punto sobre el cual se apoyó la guía confeccionada en la planificación preoperatoria delimitando los lugares de osteotomía segura para la resección tumoral (Figura 8).

En primer lugar, se realizó una flavectomía identificando los elementos neurales y se continuó con las osteotomías usando un escoplo. De esta manera, se consiguió la resección en bloque de la lesión con bordes marginales y disminuyendo al máximo la resección ósea y dejando intactas las articulaciones infra y supradadyacentes, los elementos osteoligamentarios mediales y todas las estructuras estabilizadoras del lado derecho.



Figura 8. Imagen intraquirúrgica. Se muestra la guía de osteotomía adaptada sobre la apófisis espinosa de L1. Pieza resecada con lesión tumoral en el centro.

Tomografía computarizada de la pieza

Una vez resecada la pieza se constató macroscópicamente la lesión en su borde anterior y se realizó una TC de la pieza resecada para asegurarse de la resección completa.

Control posoperatorio

El paciente fue dado de alta al día siguiente, no requirió inmovilización posoperatoria y los síntomas preoperatorios desaparecieron por completo.

DISCUSIÓN

Ante la sospecha clínica y por estudios por imágenes de un osteoma osteoide vertebral, se nos abren múltiples propuestas terapéuticas. Se han descrito remisiones espontáneas de estas lesiones⁷ y tratamientos farmacológicos,⁸ sobre todo para lesiones difíciles de abordar mediante cirugía. Cuando persisten los síntomas, pese al tratamiento conservador o en un adolescente con posibilidad de estructuralizar una escoliosis antálgica, está indicada la cirugía.

Se han descrito múltiples técnicas de menos a más invasivas para la resección del tumor: intralesional (con asistencia endoscópica o de navegación) y marginal o en bloque.⁹⁻¹⁵ En la bibliografía, se ha publicado que la resección quirúrgica en bloque es un método de tratamiento seguro para la localización vertebral. Esta técnica tiene una menor tasa de recidiva, pero conlleva el riesgo de inestabilidad posoperatoria.

En la actualidad, han cobrado gran importancia los métodos intralesionales (tasa de recidiva 7%) y radiointervencionistas que consisten en la ablación del nido con radiofrecuencia o láser guiado por TC, tomando medidas neuroprotectoras cuando el nido está muy próximo a las estructuras neurológicas; hoy se ha convertido en el tratamiento más recomendado cuando puede realizarse de manera segura.¹⁶⁻¹⁸

La decisión del tipo de tratamiento para reseca el tumor depende de la localización de la lesión, de la distancia del nido hasta los elementos neurales y de la presencia de una cortical ósea protectora del canal vertebral.

En lesiones que están a 10 mm de los elementos neurales, con una cortical ósea visible en estudios por imágenes que proteja el canal vertebral y accesibles por vía percutánea guiada por TC, la primera indicación es la termoablación de la lesión con radiofrecuencia o láser. Se han descrito medidas neuroprotectoras para disminuir los riesgos de lesión neurológica, lo que ha aumentado las indicaciones de estos métodos.^{13,16,17}

Pero cuando la lesión está muy próxima a los elementos neurales o hay solución de continuidad con la cortical ósea que la separa del canal vertebral debe indicarse la resección quirúrgica de la lesión.

Sin duda, la dificultad más importante es la localización intraoperatoria de la lesión. Así, se han descrito resecciones intralesionales guiadas por navegación, marcación de la lesión mediante tetraciclina¹⁹ y resecciones en bloque.

La navegación permite la visión tomográfica en tres planos de la lesión, pero es un método que no está disponible en todos los medios.^{20,21}

La planificación e impresión 3D es una herramienta que se está utilizando para la planificación preoperatoria y la confección de guías de colocación de *cages* o tornillos a nivel vertebral.²²⁻²⁴

En las últimas décadas, las guías quirúrgicas o plantillas anatómicas se han utilizado como herramientas tecnológicas de alta precisión. Esta tecnología se está aplicando para diversas cirugías, como implantología oral, oncología, colocación de tornillos pediculares para la fijación de la columna, artroplastia de hombro, rodilla y cadera, tratamiento de las fracturas articulares y en cirugía maxilofacial.

La plantilla quirúrgica es una guía destinada a dirigir la colocación de un implante, una resección tumoral, una osteotomía o corregir un alineamiento óseo. Usando una plantilla quirúrgica específica, la planificación preoperatoria puede ser transferida al sitio quirúrgico real y se pueden mejorar la precisión, la seguridad y la confiabilidad del resultado final.

El flujo de trabajo general del diseño y la fabricación de plantillas se describe como sigue: sobre la base de datos de estudios complementarios (TC, resonancia magnética), se procesan las imágenes y se realiza la reconstrucción 3D a través del programa de planificación preoperatoria. Teniendo como base estas imágenes 3D, se realiza la planificación preoperatoria con el objetivo de optimizar el resultado quirúrgico.

La guía se puede diseñar utilizando tecnologías de ingeniería inversa y reconstrucción de superficie. Luego, mediante un procedimiento de manufacturación aditiva (impresión 3D), se puede fabricar la guía diseñada y, finalmente, realizar la aplicación clínica.

Al compararlas con el sistema de navegación quirúrgica, las ventajas de las aplicaciones de las guías anatómicas específicas son la comodidad y la facilidad de uso. Además, usando una guía quirúrgica específica, la cirugía puede ser mínimamente invasiva y los procedimientos quirúrgicos pueden ejecutarse en un tiempo más corto, con menos permanencia en la sala de operaciones, lo que permite ahorros significativos en los costos de salud y menores riesgos para el paciente.

La fabricación más utilizada y económica es el modelado por deposición fundida (*fused deposition modeling*). En este caso, se usa un filamento de polímero (por lo general, plástico) que, calentado en el cabezal de la impresora, se extruye y deposita en estado semilíquido. Una vez depositado el polímero, este se endurece rápidamente a temperatura ambiente y permite así el depósito capa por capa del polímero. De esta manera, creando capas 2D superpuestas una sobre otras se genera el modelo 3D final.

Pueden surgir algunos problemas e imprecisiones en las cirugías guiadas por plantillas específicas, por lo que los cirujanos también deben verificar las imágenes de la planificación, el progreso de fabricación, el correcto posicionamiento y la fijación de la plantilla.

En el campo de la cirugía de columna, Hu y cols.²⁵ evaluaron la precisión de las guías específicas para la colocación de tornillos pediculares basada en las imágenes tomográficas del paciente y los resultados probaron que esta tecnología mejora la seguridad de la técnica de fijación.

CONCLUSIONES

La tecnología 3D nos permite realizar una planificación preoperatoria precisa de la resección tumoral de manera segura, sencilla y económica. La confección e impresión de las guías para osteotomía con un punto de anclaje determinado asegura la identificación intraoperatoria de la lesión que sigue siendo la dificultad más importante. La impresión de un modelo real de la columna vertebral con la lesión presente en el campo operatorio brinda la posibilidad de ser muy preciso con las osteotomías y cuidadoso con las estructuras neurológicas vecinas.

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflictos de intereses.

ORCID de M. Velez: <https://orcid.org/0000-0003-4094-0876>

ORCID de S. Verger: <https://orcid.org/0000-0003-3774-6781>

BIBLIOGRAFÍA

1. Jaffe HL. Osteoid-osteoma: a benign osteoblastic tumor composed of osteoid and atypical bone. *Archiv Surg* 1935;31(5):709-28. <https://doi.org/10.1001/archsurg.1935.01180170034003>
2. Cantwell CP, Obyrne J, Eustace S. Current trends in treatment of osteoid osteoma with an emphasis on radiofrequency ablation. *Eur Radiol* 2004;14(4):607-17. <https://doi.org/10.1007/s00330-003-2171-6>
3. Gasbarrini A, Cappuccio M, Bandiera S, Amendola L, van Urk P, Boriani S. Osteoid osteoma of the mobile spine: surgical outcomes in 81 patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011;36(24):2089-93. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181ffeb5e>
4. Tello CA, Bersusky E, Francheri A, Noel M. Osteoma osteoide en la columna pediátrica. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol* 1995;60(2):111-25. Disponible en: https://www.aaot.org.ar/revista/1993_2002/1995/1995_2/600201.pdf
5. Harish S, Saifuddin A. Imaging features of spinal osteoid osteoma with emphasis on MRI findings. *Eur Radiol* 2005;15(12):2396-403. <https://doi.org/10.1007/s00330-005-2816-8>
6. Lee EH, Shafi M, Hui JH. Osteoid osteoma: a current review. *J Pediatr Orthop* 2006;26(5):695-700. <https://doi.org/10.1097/01.bpo.0000233807.80046.7c>
7. Coulier B, Maillieux P, Munting E. Spontaneous remission of an osteoid osteoma of the axis. *JBR-BTR* 2005;88(1):43. PMID: 15792170
8. Segura FP, Segura FV. Tratamiento farmacológico del osteoma osteoide. A propósito de 4 casos. *Rev Soc Ortop Traumatol Córdoba* 2006;6(1):21-4.
9. Slullitel H, Gruenberg M, Valacco M, Solá C, Ortolán E. Tratamiento quirúrgico del osteoma osteoide de la columna vertebral. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol* 2006;71(1):6-10. Disponible en: https://www.aaot.org.ar/revista/2006/n1_vol71/art1.pdf
10. Charosky S, Bernasconi JP, Coll P, Rudt T, Sierra P, Pedemonte M, et al. Osteoma osteoide de la columna vertebral. Comunicación de cuatro casos. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol* 2000;65(4):295-8. Disponible en: https://www.aaot.org.ar/revista/1993_2002/2000/2000_4/650407.pdf
11. Kadhim M, Binitie O, O'Toole P, Grigoriou E, De Mattos CB, Dormans JP. Surgical resection of osteoid osteoma and osteoblastoma of the spine. *J Pediatr Orthop B* 2017;26(4):362-9. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000406>
12. Nagashima H, Nishi T, Yamane K, Tanida A. Case report: osteoid osteoma of the C2 pedicle: surgical technique using a navigation system. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(1):283-8. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-0958-8>
13. Yoshioka K, Matsuda E, Murakami H, Tsuchiya H. Microendoscopic excision of osteoid osteoma in the pedicle of the third lumbar vertebra. *Asian Spine J* 2015;9(6):958-61. <https://doi.org/10.4184/asj.2015.9.6.958>
14. Esteban Cuesta H, Martel Villagran J, Bueno Horcajadas A, Kassarian A, Rodriguez Caravaca G. Percutaneous radiofrequency ablation in osteoid osteoma: Tips and tricks in special scenarios. *Eur J Radiol* 2018;102:169-75. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.03.008>
15. Xie T, Xiu P, Song Y, Zeng J, Huang S. Percutaneous endoscopic excision and ablation of osteoid osteoma of the lumbar spine and sacrum: A technical note and outcomes. *World Neurosurg* 2020;133:121-6. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.09.039>
16. Tsoumakidou G, Thénint MA, Garnon J, Buy X, Steib JP, Gangi A. Percutaneous image-guided laser photocoagulation of spinal osteoid osteoma: A single-institution series. *Radiology* 2016;278(3):936-43. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015150491>
17. Albisinni U, Facchini G, Spinnato P, Gasbarrini A, Bazzocchi A. Spinal osteoid osteoma: efficacy and safety of radiofrequency ablation. *Skeletal Radiol* 2017;46(8):1087-94. <https://doi.org/10.1007/s00256-017-2662-1>

18. Rehnitz C, Sprengel SD, Lehner B, Ludwig K, Omlor G, Merle C, et al. CT-guided radiofrequency ablation of osteoid osteoma and osteoblastoma: clinical success and long-term follow up in 77 patients. *Eur J Radiol* 2012;81(11):3426-34. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.04.037>
19. Ayala AG, Murray JA, Erling MA, Raymond AK. Osteoid-osteoma: intraoperative tetracycline-fluorescence demonstration of the nidus. *J Bone Joint Surg Am* 1986;68(5):747-51. PMID: 3722233
20. Rajasekaran S, Kamath V, Shetty AP. Intraoperative Iso-C three-dimensional navigation in excision of spinal osteoid osteomas. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33(1):E25-9. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31815e6308>
21. Van Royen BJ, Baayen JC, Pijpers R, Noske DP, Schakenraad D, Wuisman PI. Osteoid osteoma of the spine: a novel technique using combined computer-assisted and gamma probe-guided high-speed intralesional drill excision. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30(3):369-73. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000152531.49095.34>
22. Spetzger U, Frasca M, König SA. Surgical planning, manufacturing and implantation of an individualized cervical fusion titanium cage using patient-specific data. *Eur Spine J* 2016;25(7):2239-46. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4473-9>
23. Yang M, Li C, Li Y, Zhao Y, Wei X, Zhang G, et al. Application of 3D rapid prototyping technology in posterior corrective surgery for Lenke 1 adolescent idiopathic scoliosis patients. *Medicine (Baltimore)* 2015;94(8):e582. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000582>
24. Sugawara T, Higashiyama N, Kaneyama S, Takabatake M, Watanabe N, Uchida F, et al. Multistep pedicle screw insertion procedure with patient-specific lamina fit-and-lock templates for the thoracic spine: clinical article. *J Neurosurg Spine* 2013;19(2):185-90. <https://doi.org/10.3171/2013.4.SPINE121059>
25. Hu Y, Yuan ZS, Spiker WR, Albert TJ, Dong WX, Xie H, et al. Deviation analysis of C2 translaminal screw placement assisted by a novel rapid prototyping drill template: a cadaveric study. *Eur Spine J* 2013;22(12):2770-6. <https://doi.org/10.1007/s00586-013-2993-0>