



CIRUGÍA ESPAÑOLA

www.elsevier.es/cirugia



Innovación en técnica quirúrgica

Aplicación de reconstrucción 3D e inteligencia artificial a la escisión completa de mesocolon y linfadenectomía D3 en el cáncer de colon



Alvaro Garcia-Granero ^{a,b,c,d,e,*}, Sebastián Jerí Mc-Farlane ^a, Margarita Gamundí Cuesta ^a y Francesc Xavier González-Argente ^a

^a Unidad de Coloproctología, Servicio de Cirugía General y del Aparato Digestivo, Hospital Universitario Son Espases, Palma, Illes Balears, España

^b Instituto de Investigación Sanitaria Illes Balears (IdISBa), Palma, Illes Balears, España

^c Unidad de Reconstrucción-3D y Centro de Simulación, Hospital Universitario Son Espases, Palma, Illes Balears, España

^d Profesor Departamento de Anatomía y Embriología Humana, Universidad de Islas Baleares, Palma, Illes Balears, España

^e Coordinador Unidad de Anatomía Quirúrgica Aplicada, Universidad de Valencia, Valencia, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 11 de octubre de 2022

Aceptado el 29 de octubre de 2022

On-line el 21 de diciembre de 2022

Palabras clave:

Neoplasia de colon

Reconstrucción tridimensional

Linfadenectomía

Cirugía colorrectal

RESUMEN

Las técnicas de reconstrucción 3D basadas en algoritmos matemáticos y la inteligencia artificial son una línea de innovación actual en cirugía oncológica colorrectal.

El objetivo de este estudio es mostrar la experiencia inicial de un sistema de procesamiento de imagen y reconstrucción 3D en la planificación de escisión completa de mesocolon y linfadenectomía D3 en cáncer de colon.

Se aplica en un caso de neoplasia de ángulo esplénico, así como en neoplasia de colon derecho con sospecha de infiltración retroperitoneal.

Se empleó el procesamiento de imagen y reconstrucción 3D para delimitar un margen intestinal de 10 cm proximal y distal al tumor y delimitar la vascularización correspondiente a la tumoración. En el cáncer de colon derecho se mostró la posición y dimensiones exactas del área de linfadenectomía D3 y posible infiltración de la fascia retroperitoneal.

El procesamiento de imagen y reconstrucción 3D permite obtener información valiosa a partir de la tomografía computarizada. Esta podría emplearse en la estrategia quirúrgica y así mejorar los resultados oncológicos y disminuir las complicaciones intraoperatorias.

© 2022 AEC. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: alvaroggf@hotmail.com (A. Garcia-Granero).

<https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2022.10.023>

0009-739X/© 2022 AEC. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Application of 3D-reconstruction and artificial intelligence for complete mesocolic excision and D3 lymphadenectomy in colon cancer

A B S T R A C T

Keywords:

Colonic neoplasm
Three-dimensional imaging
Lymph node excision
Colorectal surgery

Mathematical algorithms 3D-reconstruction techniques and artificial intelligence are a current line of innovation in colorectal surgical oncology.

The objective of this study is to show the initial experience of a 3D image processing and reconstruction system to perform complete mesocolic excision and D3-lymphadenectomy in colon cancer.

It is applied to a splenic flexure neoplasm and in a right colon cancer with suspected retroperitoneal infiltration.

3D image processing and reconstruction was employed to delimit 10 cm proximal and distal intestinal margins to the tumor and define its corresponding vascularization. In right colon cancer it showed position and exact dimensions of D3-lymphadenectomy area and possible retroperitoneal fascia infiltration.

3D image processing and reconstruction allows to obtain valuable information from computerized tomography scan. It could be employed during surgical strategy planification to improve oncological results and reduce intraoperative complications.

© 2022 AEC. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

En los últimos años, se ha observado un aumento de publicaciones respecto a la aplicación en cirugía oncológica de tecnología de reconstrucción 3D a partir de técnicas de imagen convencionales¹. Estas destacan las ventajas de realizar una reconstrucción 3D de la vascularización a partir de la tomografía computarizada (TC) para diseñar la estrategia quirúrgica de ligadura central o linfadenectomía D3 en el cáncer de colon².

Recientemente, ha sido empleado un sistema de procesamiento y reconstrucción 3D de imagen (3D-IPR) basado en algoritmos matemáticos en el cáncer de recto localmente avanzado para la valoración de infiltración tumoral de estructuras vecinas³.

El objetivo del presente artículo es mostrar los primeros casos en los que se ha empleado 3D-IPR para planificar la escisión completa de mesocolon y linfadenectomía D3 en el cáncer de colon.

Técnica quirúrgica

La escisión completa de mesocolon mostrada se basa en los siguientes detalles técnicos: márgenes intestinales proximal y distal a la tumoración de 8-10 cm, disección por plano embriológico y ligadura central de los vasos nutrientes tumorales. Además, se deben conseguir unos márgenes quirúrgicos libres de infiltración⁴. En los 2 siguientes casos clínicos reales se mostrará la utilidad de 3D-IPR en cada uno de estos puntos.

Neoplasia en ángulo esplénico del colon

Se han descrito 3 técnicas quirúrgicas para este tipo de tumores, sin que se hayan encontrado diferencias en los

resultados oncológicos: la resección segmentaria del ángulo esplénico, la colectomía subtotal y la hemicolectomía izquierda ampliada⁵.

Se presenta paciente de 42 años con diagnóstico mediante colonoscopia y TC de adenocarcinoma de colon de ángulo esplénico estadificación preoperatoria T3N+M0 (fig. 1).

Se empleó 3D-IPR para delimitar el margen intestinal de 10 cm y así identificar los vasos nutrientes tumorales, que en este caso fue la arteria cólica izquierda (fig. 2 A y B).

También se utilizó para localizar posibles adenopatías pericólicas, en el origen de la arteria cólica izquierda y en el territorio de la vena mesentérica inferior, cerca del borde inferior del páncreas (fig. 2C).

Por todos estos hallazgos, se realizó una resección segmentaria de colon laparoscópica con ligadura central de la arteria cólica izquierda y de la rama izquierda de los vasos cólicos medios (fig. 3A).

También se incluyó el territorio de la vena mesentérica inferior comprendida entre el origen de la arteria mesentérica inferior y su desembocadura en la vena esplénica (fig. 3B).

El resultado anatomopatológico fue de T3N1b (3/18). Uno de los 2 ganglios positivos fue localizado en el territorio de la vena mesentérica inferior (fig. 4 Ay B).

Neoplasia en colon derecho con sospecha de infiltración retroperitoneal

Según las guías clínicas japonesas, la linfadenectomía D3 en el cáncer de colon está indicada en pacientes con sospecha de ganglios positivos en la TC preoperatoria⁶.

Además, si el margen retroperitoneal de la pieza quirúrgica es positivo para infiltración tumoral, el riesgo de recidiva local aumenta⁷.

Se presenta paciente de 56 años, con diagnóstico de adenocarcinoma T4bN+M0 localizado en colon ascendente mediante colonoscopia y TC. El informe radiológico evidencia posible infiltración de la grasa retroperitoneal (fig. 5).

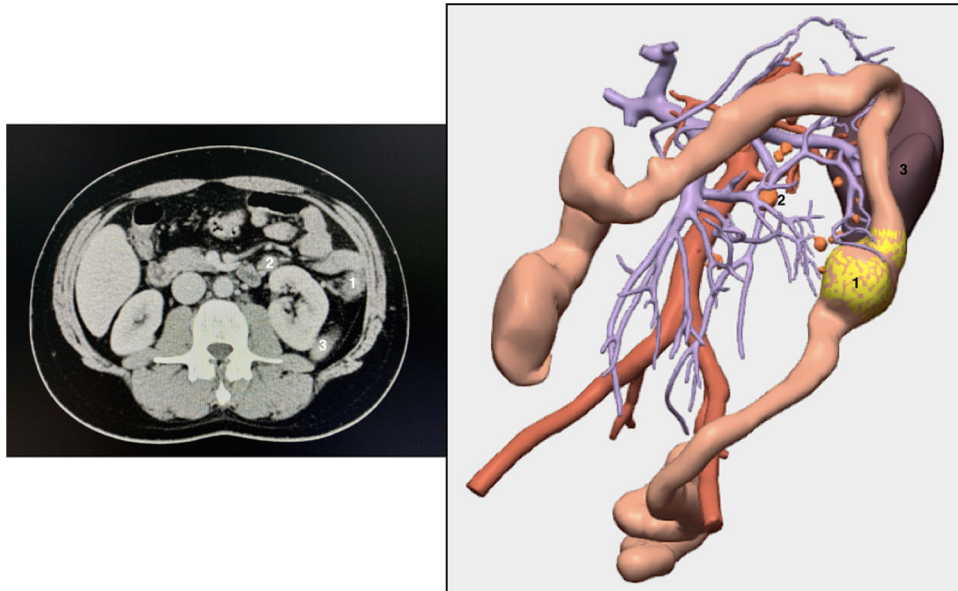


Figura 1 – Corte axial de TC abdominopélvica y reconstrucción 3D a partir de la misma TC. 1: tumor, 2: adenopatía en territorio de vena mesentérica inferior, 3: bazo.

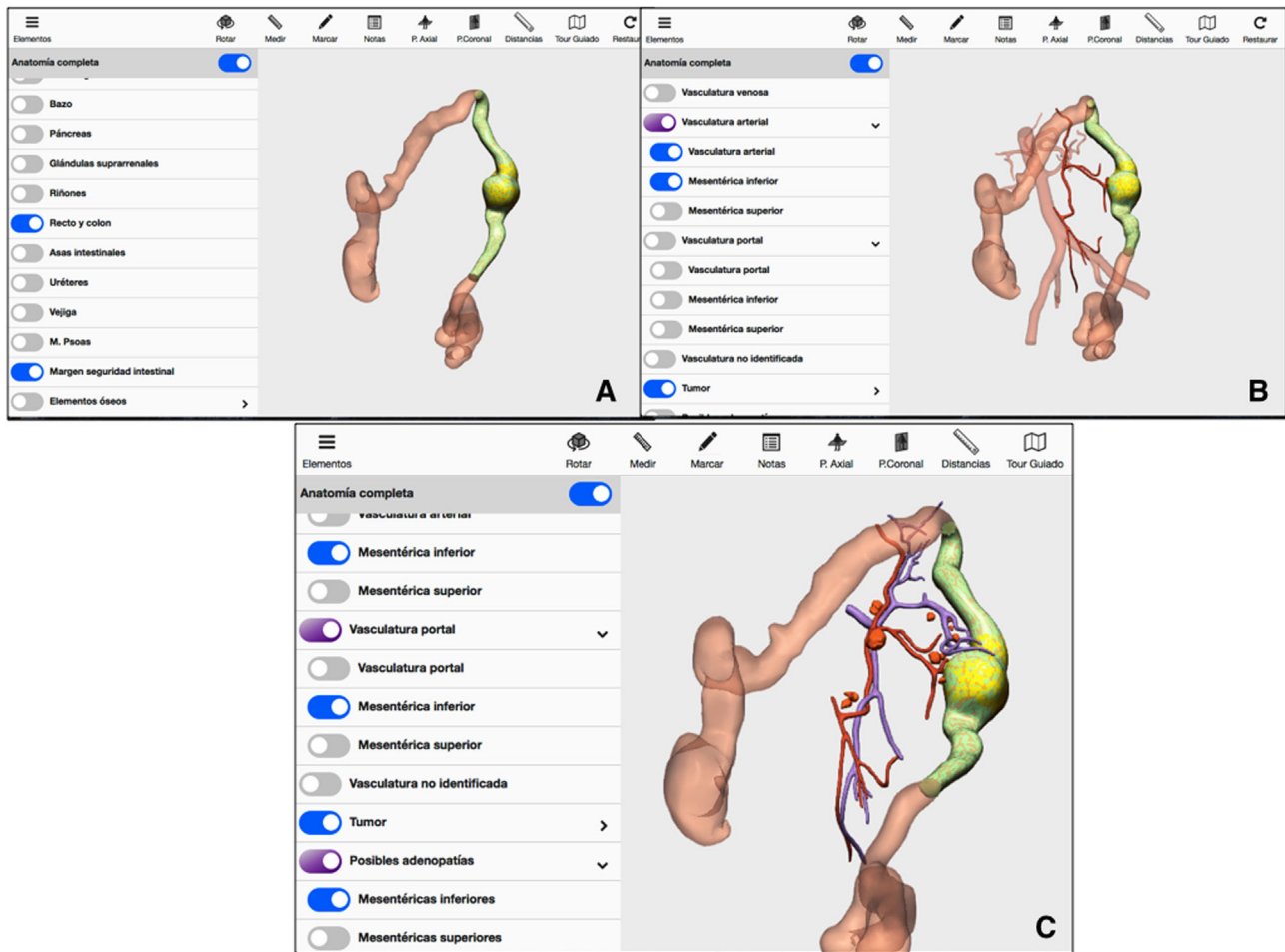


Figura 2 – Método 3D-IPR empleado para establecer estrategia quirúrgica en neoplasia de ángulo esplénico. A: Delimitación matemática de margen intestinal 10 cm proximal y distal al tumor. B: Vasos nutrientes del área establecida en A. C: Localización de posibles adenopatías en territorio arterial y venoso del área establecida en A.

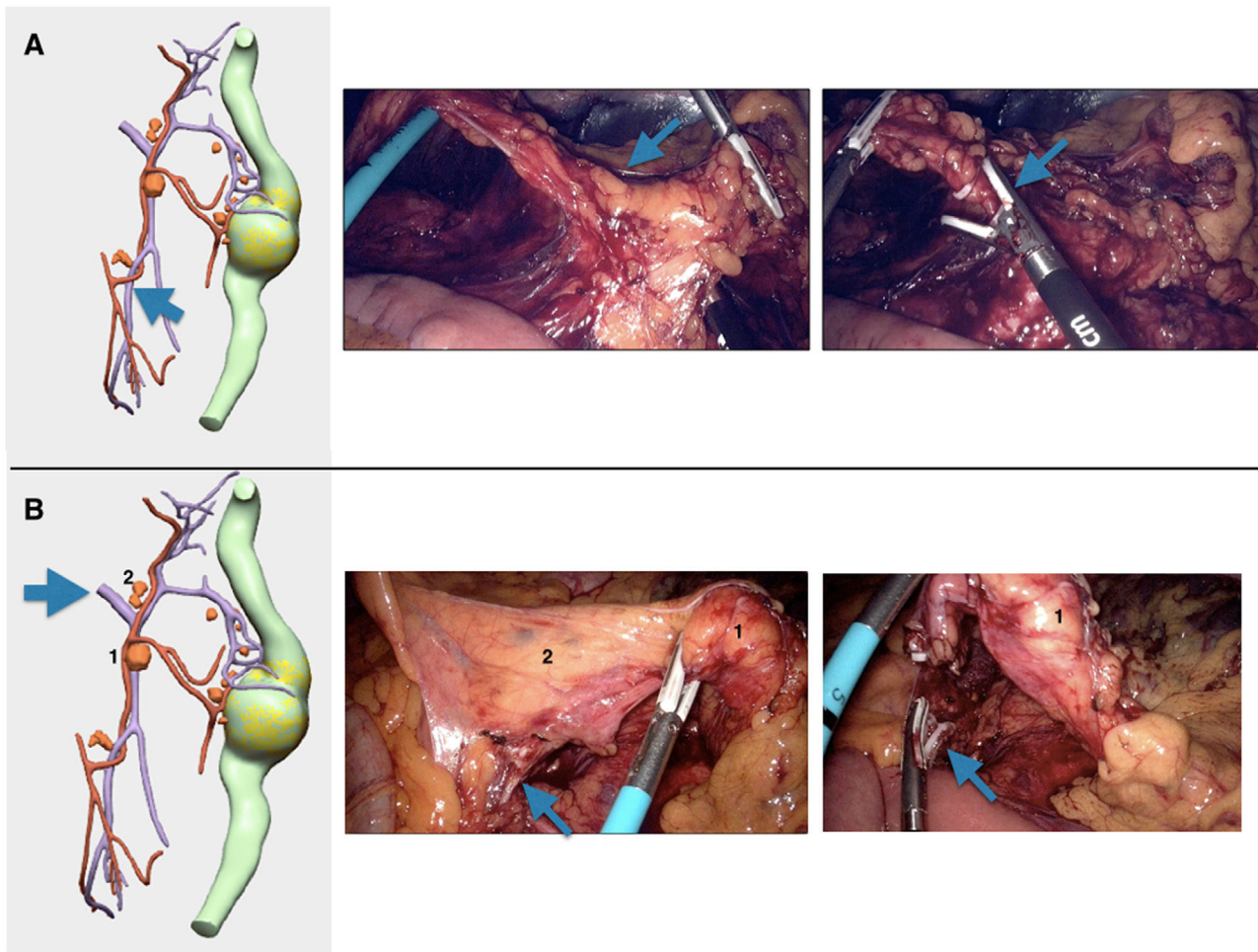


Figura 3 – Diferentes pasos quirúrgicos del procedimiento, representados mediante imágenes de 3D-IPR y fotogramas de la intervención. A: Flecha azul: ligadura alta de arteria cólica izquierda. B: Flecha azul: ligadura de vena mesentérica inferior en borde inferior de páncreas. 1 y 2: posibles adenopatías en territorio de vena mesentérica inferior.

Se empleó 3D-IPR para delimitar el margen intestinal de 10 cm y así identificar los vasos nutrientes tumorales, que en este caso fueron la arteria ileocólica y la arteria cólica derecha (fig. 6 A y B).

Se realizó hemicolectomía derecha laparoscópica con ligadura central de los vasos ileocólicos y la rama derecha de los vasos cólicos medios.

El 3D-IPR localizó posibles adenopatías pericólicas en el territorio de los vasos ileocólicos y próximos al tronco gastrocólico de Henle (fig. 6 C y D).

Mediante 3D-IPR se pudo localizar el área de linfadenectomía D3 y calcular su volumen de forma matemática. Se realizó linfadenectomía D3 con exéresis del tejido linfograso localizado sobre la vena mesentérica superior y ligadura alta de la vena cólica derecha superior (fig. 7).

Por último, ante la sospecha de infiltración de la grasa retroperitoneal, se realizó reconstrucción 3D de la fascia retroperitoneal (fig. 8) y se midió de forma matemática la mínima distancia del tumor a esta fascia. El resultado fue de 0,1 mm, por lo que se concluyó que no existía infiltración de la grasa retroperitoneal (fig. 9A).

Aun así, la simulación quirúrgica mediante 3D-IPR mostró que para obtener un margen quirúrgico libre de 1 cm se debía incluir la fascia retroperitoneal en la pieza quirúrgica (fig. 9B).

El plano embriológico de disección fue la fascia de Toldt y de Fredet, pero en la zona de posible infiltración tumoral se incluyó la fascia retroperitoneal en la pieza quirúrgica (fig. 9C).

El informe anatomopatológico macroscópico fue de plano mesocólico correcto y presencia de la vela mesocólica derecha, confirmando la realización de linfadenectomía D3 completa (fig. 10 A-C). El informe anatomopatológico microscópico fue de T3N+ (5/35), margen retroperitoneal negativo y una distancia del tumor al margen retroperitoneal de 9 mm (fig. 10D).

Descripción de metodología por Cella Medical Solutions para el diseño del 3D-IPR a partir de TC preoperatoria

Se trabaja sobre diagnóstico por imagen (TC) en formato DICOM. Se realiza fusión de la imagen entre las fases de la TC,

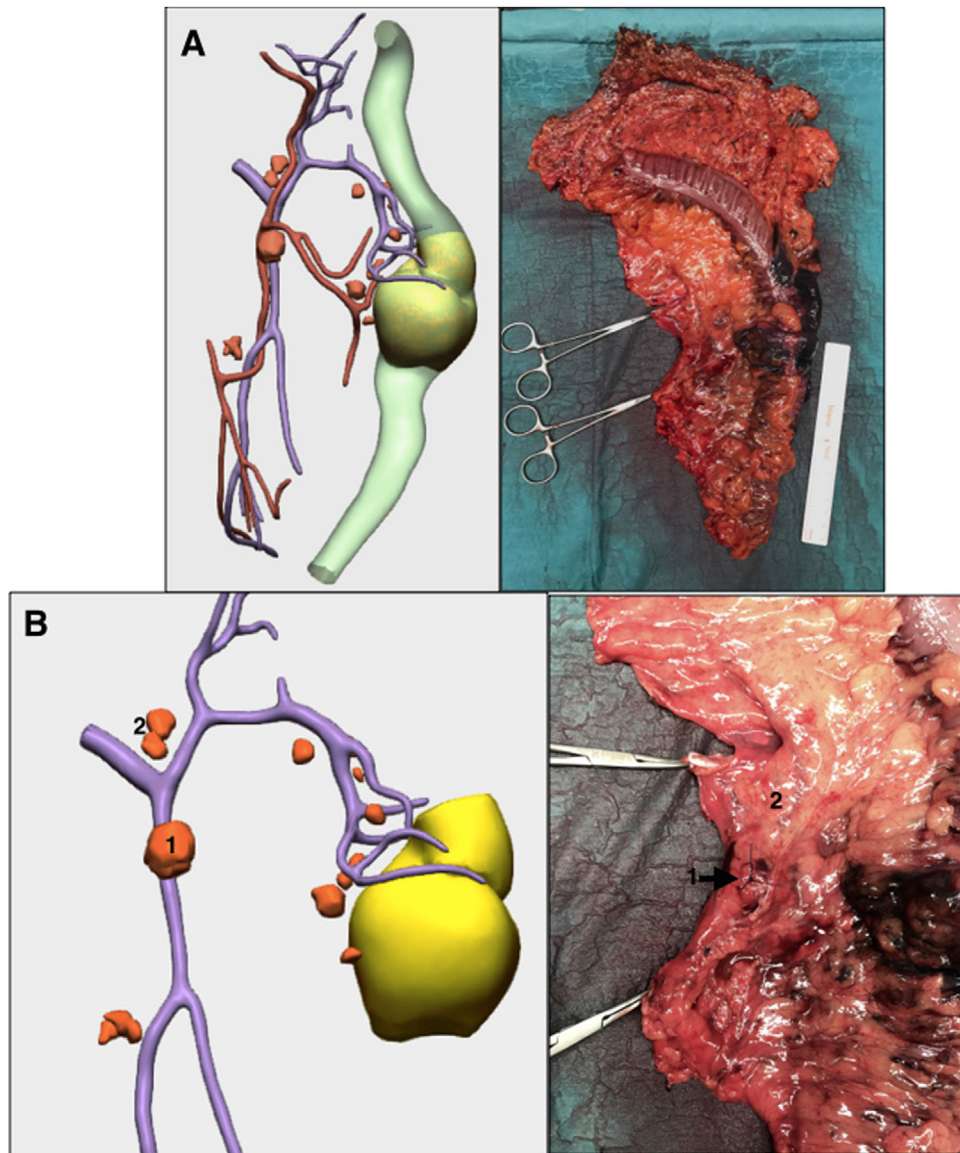


Figura 4 – Comparación de pieza quirúrgica simulada por 3D-IPR y pieza quirúrgica real. A: Pieza quirúrgica completa. B: Zona de pieza quirúrgica correspondiente a territorio de vena mesentérica inferior. 1 y 2: posibles adenopatías en territorio de vena mesentérica inferior. En la pieza quirúrgica se marca 1 con un punto. El estudio final de esta adenopatía fue positivo para infiltración tumoral.

aplicando técnicas de corrección rígida, afines y no afines, para corregir desviaciones derivadas de movimiento, respiración o posición del paciente. Se normaliza y prepara la imagen con filtros de difusión anisotrópica para la eliminación de ruido. Se realiza la segmentación semiautomática de elementos anatómicos de interés partiendo del resultado de la ejecución de redes neuronales de tipo SesRegNet y UnetR, seguida de algoritmos de crecimiento adaptativo de regiones. El efecto del grosor de corte en las estructuras 3D resultantes es atenuado mediante suavizado laplaciano. Se utilizan operadores booleanos para determinar las infiltraciones o contactos de los elementos patológicos con el resto de los órganos.

Discusión

La estrategia quirúrgica preoperatoria a partir de las pruebas de imagen disminuye el riesgo de complicaciones intraoperatorias y mejora los resultados oncológicos².

La escisión completa del mesocolon se basa en la ligadura central de los vasos nutrientes tumorales⁴. Las tumoraciones localizadas en el ángulo esplénico abarcan desde las situadas en la parte distal del colon transverso a la parte proximal del colon descendente. Esta variabilidad provoca que 3 técnicas quirúrgicas sean consideradas correctas: la colectomía subtotal, la hemicolectomía izquierda y la resección segmentaria de ángulo

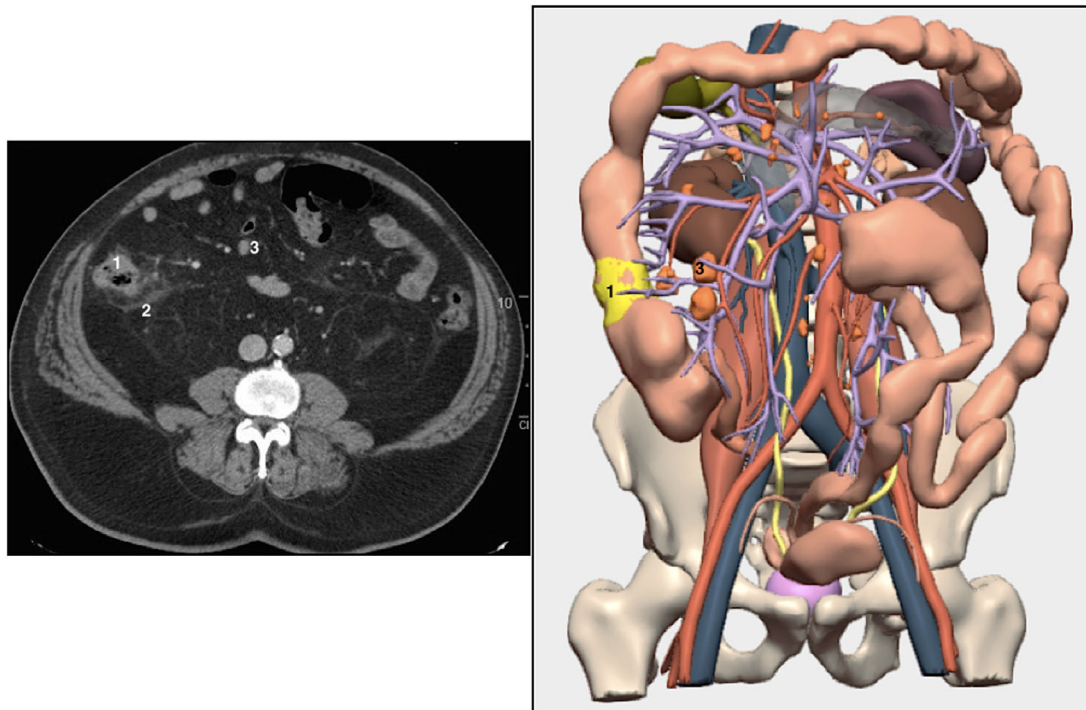


Figura 5 – Corte axial de TC abdominopélvica y reconstrucción 3D a partir de la misma TC. 1: tumor, 2: posible infiltración de grasa retroperitoneal, 3: posibles adenopatías.

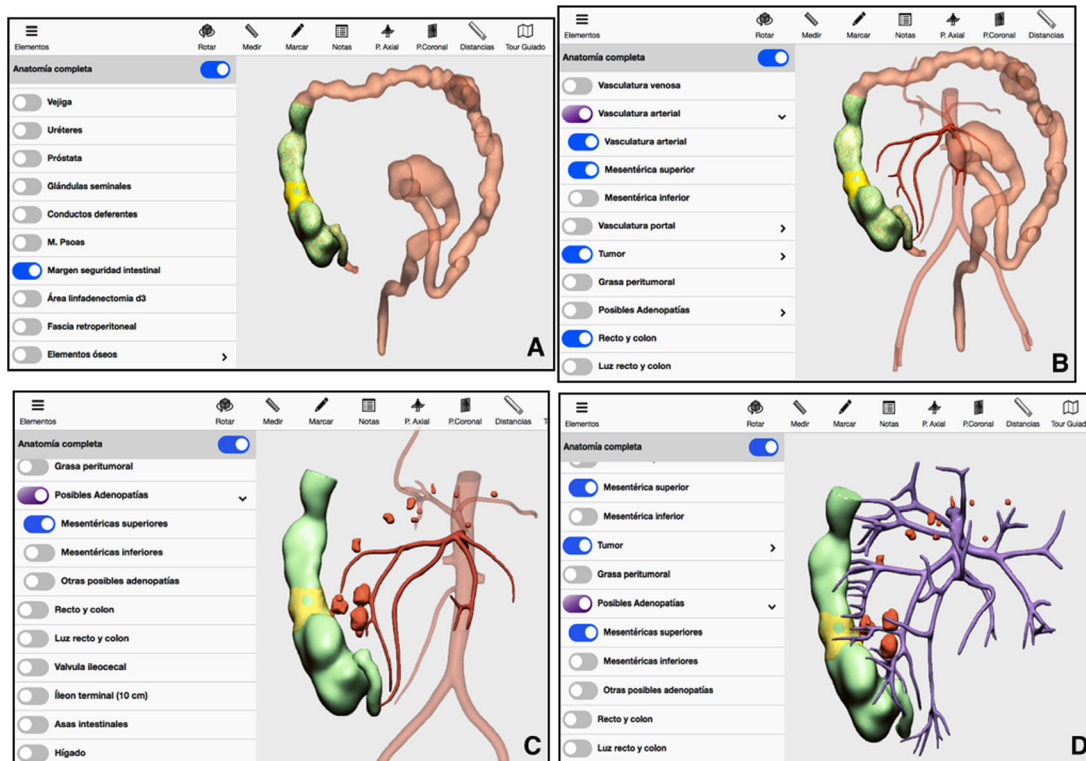


Figura 6 – Método 3D-IPR empleado para establecer estrategia quirúrgica en neoplasia de colon derecho. A: Delimitación matemática de margen intestinal 10 cm proximal y distal al tumor. B: Vasos nutrientes del área establecida en A. C: Localización de posibles adenopatías en territorio arterial del área establecida en A. D: Localización de posibles adenopatías en territorio venoso del área establecida en A.

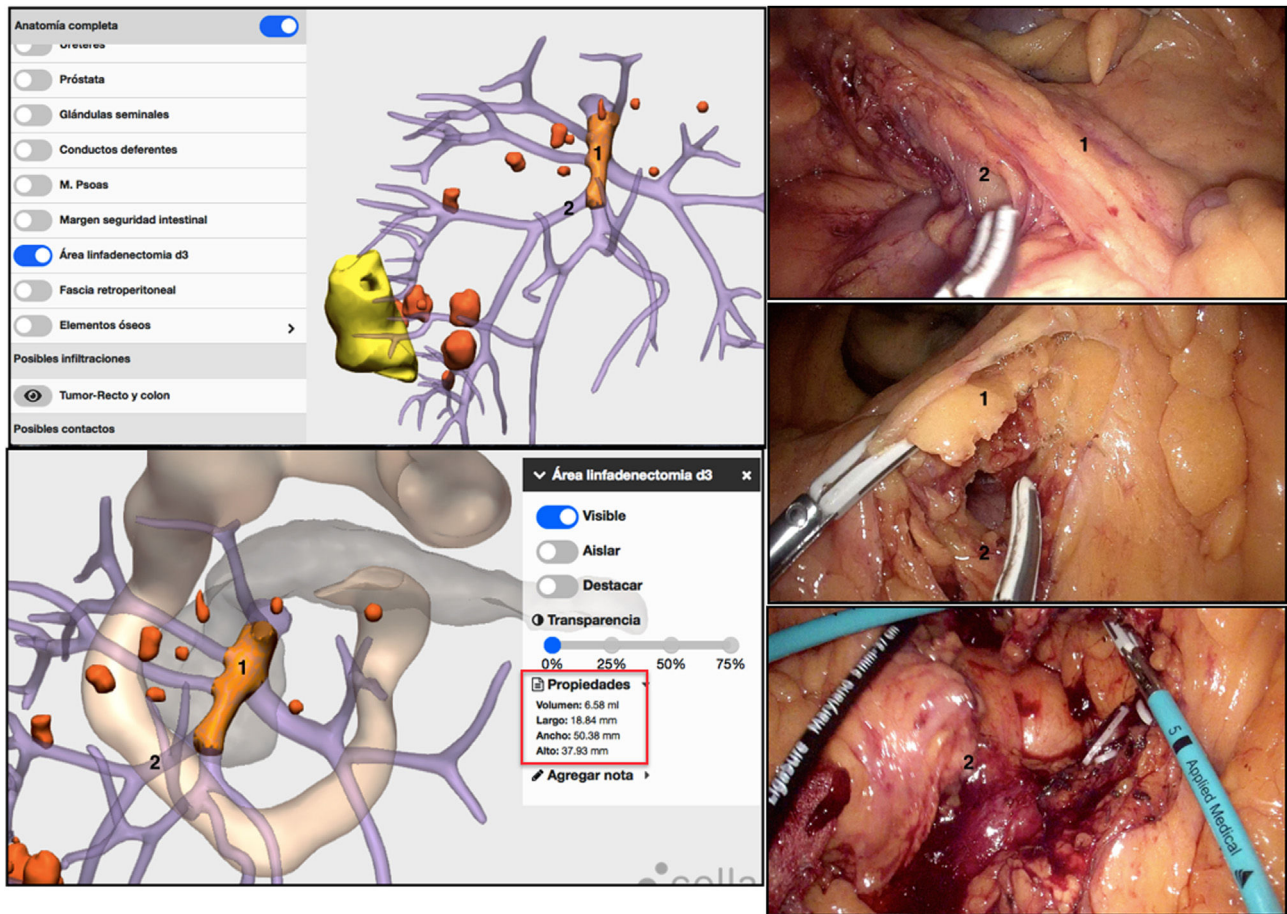


Figura 7 – Diferentes pasos quirúrgicos del procedimiento de linfadenectomía D3, representados mediante imágenes de 3D-IPR y fotogramas de la intervención. En imagen de 3D-IPR se muestra la identificación de forma matemática de las dimensiones del área de linfadenectomía D3. En los fotogramas quirúrgicos se muestra la disección de esta área. 1: área de linfadenectomía D3, 2: vasos ileocólicos. Cuadrado rojo: dimensiones de volumen, largo, alto y ancho de área de linfadenectomía D3.

esplénico⁵. La elección del tipo de técnica dependerá de los vasos nutrientes tumorales, sin embargo, en ocasiones la visualización en 2 dimensiones de las imágenes de TC no es suficiente para identificarlos. Esta dificultad podría resolverse mediante una reconstrucción tridimensional y un cálculo matemático de 10 cm de margen intestinal proximal y distal al tumor.

Este margen da una probabilidad del 95% de que se resequen todos los ganglios pericólicos infiltrados por el tumor⁸.

En los tumores localizados en el ángulo esplénico existe la discusión bibliográfica de si es necesario incluir de forma rutinaria la vena mesentérica inferior. Lo que sí parece evidente es que se debe incluir cuando existen ganglios sospechosos de infiltración en dicho territorio⁹. El 3D-IPR podría ayudar a localizar preoperatoriamente estas adenopatías.

En el cáncer de colon derecho, últimos metaanálisis concluyen que tumores clasificados como estadio III se benefician de incorporar una linfadenectomía D3 a la escisión completa de mesocolon¹⁰. Esta técnica se basa en la incorporación a la pieza quirúrgica del tejido linfograso localizado sobre la vena mesentérica superior y en la zona del tronco gastrocólico de Henle¹¹. Existe una gran variedad anatómica de estas estructuras y la visualización de las

mismas por parte del cirujano en la TC preoperatoria suele ser complicada. Por esta razón, diferentes publicaciones han mostrado la ventaja de realizar reconstrucciones 3D de la vascularización a partir de la TC². El 3D-IPR aporta la posibilidad de detectar de forma matemática la localización y el volumen del área de linfadenectomía D3 en el cáncer de colon derecho.

La escisión completa de mesocolon se basa en la disección a través del plano embriológico entre el mesocolon y el retroperitoneo. En el colon derecho se realiza por la fascia de coalescencia de Toldt y Fredet¹². Sin embargo, ante la sospecha de infiltración de estructuras retroperitoneales, el plano de disección se debe modificar e incorporar estas estructuras a la pieza quirúrgica, ya sea de forma parcial o completa. La razón es que un margen retroperitoneal positivo para infiltración tumoral aumenta el riesgo de recidiva local y disminuye la supervivencia global y libre de enfermedad⁷.

El 3D-IPR permite de forma matemática calcular la mínima distancia del tumor a todas las estructuras anatómicas. Además, se demuestra que la fascia retroperitoneal es una estructura anatómica independiente, así que este 3DMM permite identificar si existe infiltración de la misma o no.

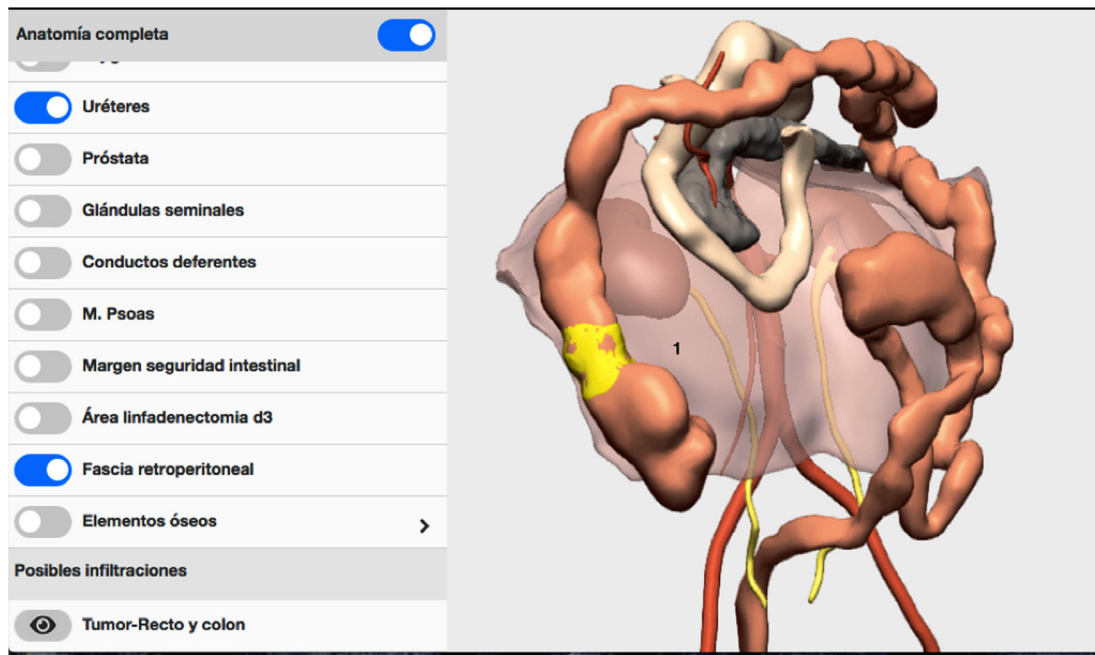


Figura 8 – Demostración de la reconstrucción de la fascia retroperitoneal mediante 3D-IPR. 1: fascia retroperitoneal.

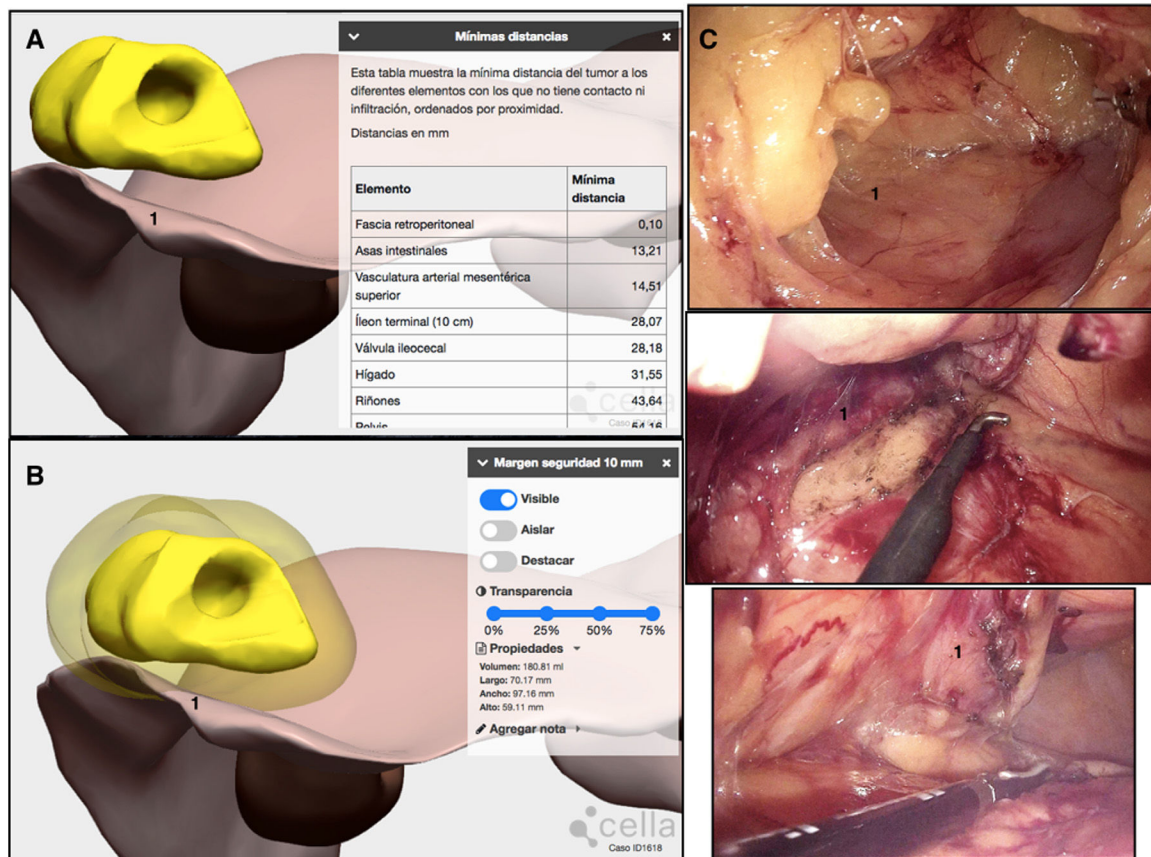


Figura 9 – Método 3D-IPR empleado para establecer la relación del tumor con la fascia retroperitoneal y simular una pieza quirúrgica con un margen radial libre de infiltración de 1 cm. Demostración de cirugía realizada mediante fotogramas. A: Distancia mínima obtenida mediante 3D-IPR del tumor a la fascia retroperitoneal: 0,1 mm. B: Simulación de margen quirúrgico radial libre de infiltración de 1 cm que muestra la necesidad de incorporar la fascia retroperitoneal a la pieza quirúrgica. C: Incorporación de la fascia retroperitoneal a la pieza quirúrgica. 1: fascia retroperitoneal.

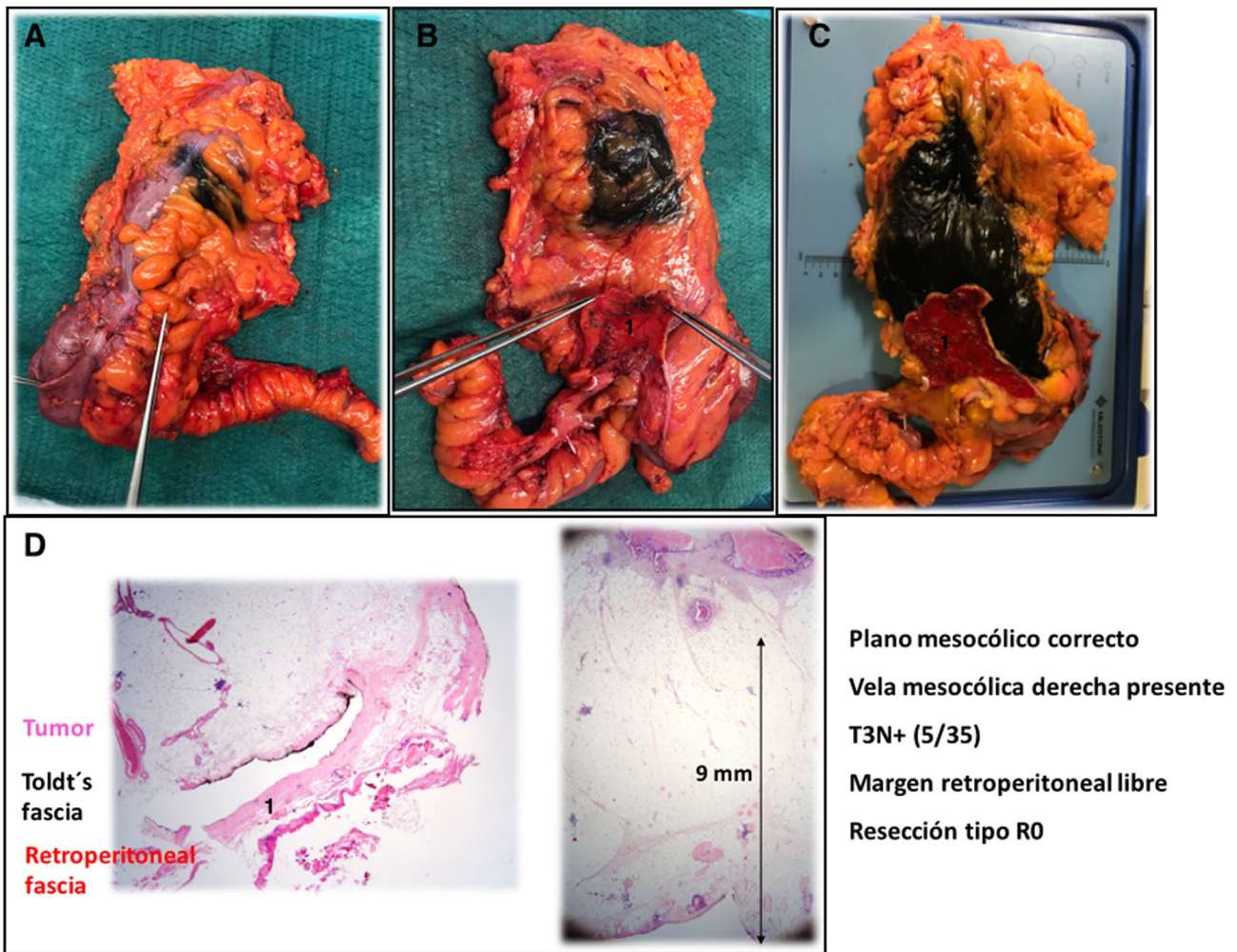


Figura 10 – Estudio anatomopatológico de la pieza quirúrgica. **A:** Visión anterior con tatuaje margen tumoral por endoscopia. **B:** Visión posterior de la pieza quirúrgica con fascia retroperitoneal señalada por el cirujano. **C:** Visión posterior de la pieza quirúrgica con margen retroperitoneal pintado de negro con tinta china y fascia retroperitoneal pintada de rojo con tinta china. **D:** Visión microscópica de la relación del tumor con la fascia retroperitoneal y la distancia del tumor al margen retroperitoneal. 1: fascia retroperitoneal.

Recientemente, se ha aplicado con idéntica metodología un 3D-IPR a partir de la resonancia magnética para identificar infiltración tumoral de estructuras vecinas en el cáncer de recto localmente avanzado¹³.

Por último, este 3D-IPR permite realizar una simulación quirúrgica de margen quirúrgico libre de infiltración peritumoral de 1 cm y así plantear qué estructuras anatómicas deben ser resecaadas en bloque junto al tumor. Este perímetro de seguridad equivaldría al margen radial en tumores de colon estadificados preoperatoriamente como T4b¹⁴. En tumores localizados en el colon derecho, debido a la situación anatómica parcialmente retroperitoneal del colon ascendente, también equivaldría al margen retroperitoneal.

En conclusión, la capacidad de extraer el máximo de información de la TC mediante una reconstrucción virtual tridimensional basada en métodos matemáticos e inteligencia artificial podría ayudar a mejorar los resultados oncológicos en el cáncer de colon y disminuir las complicaciones intraoperatorias.

Conflicto de intereses

Alvaro Garcia-Granero: derechos de propiedad intelectual y asesoría científica de Cella Medical Solutions y asesoría de división endocirugía Grupo PRIM. El resto de autores no tienen conflicto de interés.

BIBLIOGRAFÍA

- Jentzsch T, Vlachopoulos L, Fürnstahl P, Müller DA, Fuchs B. Tumor resection at the pelvis using three-dimensional planning and patient-specific instruments: A case series. *World J Surg Oncol.* 2016;21:249.
- Romano G, di Buono G, Galia M, Agnello F, Anania G, Guerrieri M, et al. Role of preoperative CT angiography with multimodality imaging reconstruction to perform laparoscopic Complete Mesocolic Excision (CME) and

- Central Vascular Ligation (CVL) in right-sided colon cancer: Is it really useful? A prospective clinical study. *Eur J Surg Oncol.* 2022;S0748-7983(22)00596-0.
3. Garcia-Granero A, Pellino G, Giner F, Frasson M, Fletcher-Sanfeliu D, Primo Romaguera V, et al. A mathematical 3D-method applied to MRI to evaluate prostatic infiltration in advanced rectal cancer. *Tech Coloproctol.* 2020;24:605-7.
 4. Hohenberger W, Weber K, Matzel K, Papadopoulos T, Merkel S. Standardized surgery for colonic cancer: Complete mesocolic excision and central ligation—Technical notes and outcome. *Colorectal Dis.* 2009;11:354-64.
 5. Manceau G, Benoist S, Panis Y, Rault A, Mathonnet M, Goere D, et al. Elective surgery for tumours of the splenic flexure: A French inter-group (AFC, SFCO, FRENCH, GRECCAR) survey. *Tech Coloproctol.* 2020;24:191-8.
 6. Watanabe T, Itabashi M, Shimada Y, Tanaka S, Ito Y, Ajioka Y, et al., Japanese Society for Cancer of the Colon and Rectum. Japanese Society for Cancer of the Colon and Rectum (JSCCR) guidelines 2010 for the treatment of colorectal cancer. *Int J Clin Oncol.* 2012;17:1-29.
 7. Scott N, Jamali A, Verbeke C, Ambrose NS, Botterill ID, Jayne DG. Retroperitoneal margin involvement by adenocarcinoma of the caecum and ascending colon: What does it mean? *Colorectal Dis.* 2008;10:289-93.
 8. Kinugasa Y, Shiomi A, Yamaguchi T, Kagawa H, Yamakawa Y, Furutani A, et al. The distribution of lymph node metastases and their size in colon cancer. *Langenbecks Arch Surg.* 2017;402:1213-21.
 9. Watanabe J, Ota M, Suwa Y, Ishibe A, Masui H, Nagahori K. Evaluation of lymph flow patterns in splenic flexural colon cancers using laparoscopic real-time indocyanine green fluorescence imaging. *Int J Colorectal Dis.* 2017;32:201-7.
 10. Balciscueta Z, Balciscueta I, Uribe N, Pellino G, Frasson M, García-Granero E, et al. D3-lymphadenectomy enhances oncological clearance in patients with right colon cancer. Results of a meta-analysis. *Eur J Surg Oncol.* 2021;47:1541-51.
 11. Garcia-Granero A, Pellino P, Giner F, Frasson M, Grifo Albalat I, Sanchez-Guillen L, et al. A proposal for novel standards of histopathology reporting for D3 lymphadenectomy in right colon cancer: The mesocolic sail and superior right colic vein landmarks. *Dis Colon Rectum.* 2020;63:450-60. <http://dx.doi.org/10.1097/DCR.0000000000001589>.
 12. Garcia-Granero A, Pellino G, Frasson M, Fletcher-Sanfeliu D, Bonilla F, Sánchez-Guillén L, et al. The fusion fascia of Fredet: An important embryological landmark for complete mesocolic excision and D3-lymphadenectomy in right colon cancer. *Surg Endosc.* 2019;33:3842-50.
 13. Garcia-Granero A, Pellino G, Giner F, Frasson M, Fletcher-Sanfeliu D, Romaguera VP, et al. A mathematical 3D-method applied to MRI to evaluate prostatic infiltration in advanced rectal cancer. *Tech Coloproctol.* 2020;24:605-7. <http://dx.doi.org/10.1007/s10151-020-02170-4>.
 14. Baguena G, Pellino G, Frasson M, Roselló S, Cervantes A, García-Granero A, et al. Prognostic impact of pT stage and peritoneal invasion in locally advanced colon cancer. *Dis Colon Rectum.* 2019;62:684-93. <http://dx.doi.org/10.1097/DCR.0000000000001367>.