



CIRUGÍA ESPAÑOLA

www.elsevier.es/cirugia



Artículo especial

Realidad aumentada en cirugía hepato-bilio-pancreática. Una tecnología al alcance de la mano

Manel Cremades Pérez*, Francisco Espin Álvarez, Fernando Pardo Aranda, Jordi Navinés López, Laura Vidal Piñeiro, Alba Zarate Pinedo, Ana Maria Piquera Hinojo, Sara Sentí Farrarons y Esteban Cugat Andorra

Servicio de Cirugía General y Digestiva, Hospital Universitari Germans Trias I Pujol, Badalona, Barcelona, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 19 de junio de 2022

Aceptado el 30 de octubre de 2022

Palabras clave:

Realidad aumentada

Cirugía general

Difusión de innovación

Educación

RESUMEN

La realidad aumentada es una tecnología que abre nuevas posibilidades en cirugía. Se presenta su implementación en una unidad de cirugía hepato-bilio-pancreática en relación con la planificación preoperatoria, el soporte intraoperatorio y la docencia.

Para la planificación quirúrgica se han utilizado reconstrucciones 3D de la TC y de la RMN para hacer una evaluación de casos complejos, siendo la interpretación de la anatomía más precisa, y la planificación de la técnica más simple.

A nivel intraoperatorio ha permitido la conexión remota holográfica entre especialistas, la sustitución de elementos físicos por elementos virtuales, y el uso de modelos virtuales de consulta y guía quirúrgica.

En docencia se han impartido clases que incluyen la retransmisión de una cirugía con el soporte de elementos virtuales para una mejor comprensión por parte de los estudiantes.

Siendo la experiencia satisfactoria, la realidad aumentada podría aplicarse en el futuro de la cirugía hepato-bilio-pancreática para mejorar sus resultados.

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

Augmented reality in hepatobiliary-pancreatic surgery: A technology at your fingertips

ABSTRACT

Augmented reality is a technology that opens new possibilities in surgery. Its implementation in a hepatobiliary-pancreatic surgery unit is presented in relation to preoperative planning, intraoperative support and teaching.

For surgical planning, 3D CT and MRI reconstructions have been used to evaluate complex cases, making the interpretation of the anatomy more precise and the planning of the technique simpler.

Keywords:

Augmented reality

General surgery

Diffusion of innovation

Education

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: mcremades@outlook.com (M. Cremades Pérez).

<https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2022.10.022>

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

At an intraoperative level, it has allowed remote holographic connection between specialists, the substitution of physical elements for virtual elements, and the use of virtual consultation models and surgical guides.

In teaching, new lessons include the retransmission of a surgery with the support of virtual elements for a better understanding by the students.

Being the experience satisfactory, augmented reality could be applied in the future of hepatobiliary-pancreatic surgery to improve its results.

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

La cirugía hepato-bilio-pancreática (HBP) es una disciplina en continua evolución. Las técnicas quirúrgicas utilizadas en la actualidad han cambiado radicalmente en los últimos años. Esta evolución se ha producido gracias a avances tecnológicos como la implementación de cirugía mínimamente invasiva o cirugía robótica¹⁻³, con resultados oncológicos similares ha reducido la morbilidad, la mortalidad y la estancia hospitalaria³⁻⁵, o la telemedicina⁶.

Sin embargo, la evolución en el tratamiento de los pacientes generalmente se ha fundamentado en mejorar el procedimiento quirúrgico o los protocolos perioperatorios⁷. Otros aspectos como la planificación perioperatoria o la participación de expertos en actos quirúrgicos a distancia no han experimentado cambios relevantes en los últimos años.

La realidad aumentada (RA) es una herramienta que permite, mediante el uso de dispositivos específicos (gafas de realidad aumentada), complementar el entorno real con elementos tridimensionales virtuales o hologramas.

La implementación de la RA en la práctica quirúrgica se ha descrito en estudios piloto en ámbitos como la comunicación con el paciente, la planificación quirúrgica o el soporte intraoperatorio⁸⁻¹⁰. Consecuentemente, el uso de la RA podría suponer un cambio en la forma en que se estudian, planifican, operan y siguen los pacientes sometidos a cirugía HBP, facilitando y optimizando la tarea del cirujano.

Recientes estudios han descrito, también, los beneficios del uso de RA con fines docentes^{11,12}. El método docente convencional a nivel universitario o en cursos y congresos ha variado poco en las últimas décadas, quedando excluido de la gran revolución tecnológica que el sector quirúrgico ha experimentado. Si bien la pandemia por la COVID-19 ha obligado a cambiar paradigmas como la presencialidad en las aulas o congresos, así como en quirófanos, todavía hay campo para mejorar¹³. Explicar procedimientos quirúrgicos de la cirugía HBP implica conocimientos anatómicos y técnicos difíciles de enseñar y aprender con los recursos docentes convencionales.

Para evaluar la utilidad y posible implementación de la RA en una unidad de cirugía hepatobiliar y pancreática diseñamos un estudio transversal. Durante 12 meses esta tecnología ha dado soporte a 3 áreas principales: planificación quirúrgica, soporte intraoperatorio y docencia.

El estudio se ha llevado a cabo en el Hospital Germans Trias i Pujol, Hospital Universitario de tercer nivel situado en las

afueras de Barcelona (Cataluña, España) y centro de referencia en cirugía HBP para más de 800.000 habitantes.

En cuanto a la formación de grado, trabaja con la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), una de las principales universidades de España, con 200 alumnos en nuestra unidad docente.

La RA se introdujo en enero de 2021. Se adquirieron 2 gafas de realidad aumentada (Hololens 2® - Microsoft®) que funcionan con el *software* médico Holomedicine® (Apoqlar®). Este *software* proporciona varias funcionalidades basadas en RA, como mostrar archivos holográficos, tomografías computarizadas, resonancias magnéticas o modelos 3D, y transmitir y compartir su entorno real complementado con estos recursos virtuales.

En el área clínica, 6 cirujanos hepatobiliares y pancreáticos fueron capacitados para utilizar estos dispositivos en su práctica habitual. En cuanto a la docencia, se propuso a los 200 alumnos del recinto hospitalario participar en 3 clases piloto utilizando la RA como recurso adicional.

Planificación quirúrgica

La planificación quirúrgica convencional en cirugía HBP se realiza con imágenes de TC y RM. Ya existen grupos que, como nosotros, ante casos complejos utilizan modelos impresos en 3D. Estos modelos pueden facilitar la planificación quirúrgica ya que proporcionaron una mayor comprensión anatómica del caso a tratar.

Desde la adquisición de la tecnología de RA, dejamos de utilizar los modelos 3D impresos, y se decidió utilizar únicamente los modelos virtuales 3D para evaluar nuestros casos complejos.

Se utilizó la RA para preparar 11 casos quirúrgicos oncológicos complejos desde febrero de 2021 hasta febrero de 2022. Estos incluyeron 5 resecciones hepáticas, 4 cirugías hepáticas extremas que requirieron resección y reemplazo de la vena cava y 2 procedimientos pancreáticos con compromiso vascular.

En todos los casos, las pruebas disponibles (TC, RM y modelos 3D) se evaluaron mediante hologramas virtuales y se discutió la anatomía y los procedimientos en base a ellos.

Todos los cirujanos participantes (n = 6) expresaron subjetivamente que prepararse para la cirugía con estos hologramas virtuales era mucho más fácil que con la pantalla 2D convencional, incluso si se incluían modelos volumétricos 3D en estas (fig. 1).



Figura 1 – Planificación quirúrgica hepática. Modelo 3D de una metástasis hepática en segmento VII visualizada en su posición natural con RA en el quirófano.

Soporte intraoperatorio

La RA nos ha proporcionado 3 ventajas a nivel intraoperatorio (fig. 2). Primero, nos permitió visualizar e interactuar de forma holográfica con las pruebas complementarias del paciente, como TC, RM, modelos 3D o información relevante, accediendo a la historia clínica. Todo ello en condiciones de esterilidad. En segundo lugar, esta tecnología permite una colaboración de realidad mixta, pudiendo compartir en tiempo real el procedimiento quirúrgico con un cirujano consultor ubicado en otra ubicación o hospital. Además, este segundo cirujano puede verse virtualmente en nuestro quirófano y puede dar consejos de forma telemática como si estuviera físicamente allí. Finalmente, en cirugías mínimamente invasivas, donde se necesitan muchos dispositivos y el

espacio en el quirófano es escaso, usando las gafas de RA hemos reemplazado los monitores físicos por virtuales.

Se realizó una evaluación cualitativa subjetiva de los recursos holográficos de RA durante las cirugías. Tener las pruebas de los pacientes y los modelos 3D durante las cirugías, sin tener que acceder a dispositivos externos como ordenadores o monitores físicos, y poder consultarlos incluso en condiciones de esterilidad fue muy bien valorado. En concreto, poder superponer los hologramas a la anatomía real del paciente, concepto conocido como superimposición, fue la mejora más significativa respecto a los recursos convencionales, ya que tiene el potencial de servir como guía intraoperatoria (fig. 3).

En 2 ocasiones se realizó una conexión en tiempo real entre dos cirujanos, de modo que un cirujano junior pudiera pedir consejo a un cirujano consultor ubicado en otro hospital. En



Figura 2 – Uso de gafas de RA en el quirófano. Resección hepática abierta con soporte intraoperatorio de gafas de RA.



Figura 3 – Superimposición anatómica. Superimposición de la anatomía quirúrgica del paciente como guía intraoperatoria.



Figura 4 – Consultoría remota. Consultoría remota con la visualización del avatar del cirujano experto asesorando al equipo intraoperatoriamente.

este caso les resultó mucho más fácil de explicar el problema y de comprender la respuesta del cirujano consultor respecto a si se hiciera por teléfono o incluso por videollamada (fig. 4).

Finalmente, en varias cirugías los monitores físicos fueron reemplazados por monitores virtuales usando las gafas de RA. Obtuvimos más espacio libre en el quirófano y los cirujanos pudieron trabajar en una posición más cómoda y ergonómica. Cabe destacar las cirugías robóticas, donde el instrumental, los monitores y los cirujanos a veces deben colocarse en posiciones forzadas. En casos de colecistectomía robótica con coledoscopia intraoperatoria, ésta se visualizó por parte del cirujano de campo de forma virtual en las gafas, pudiendo prescindir del monitor correspondiente (fig. 5).

Formación quirúrgica

Decidimos utilizar la tecnología de RA para transmitir clases desde el quirófano, combinando una introducción teórica con una transmisión en tiempo real de la cirugía a través del dispositivo de RA, pudiendo usar contenido didáctico virtual complementario para explicar procedimientos complejos y tener una discusión sobre el caso con los alumnos.

Durante el segundo semestre, de septiembre de 2021 a enero de 2022, se realizaron 3 clases piloto. Las lecciones incluyeron una duodenopancreatectomía abierta, una segmentectomía hepática robótica y una colecistectomía laparoscópica. 72 alumnos del grado de medicina de la UAB se



Figura 5 – Substitución de elementos físicos por virtuales. Pantalla virtual con la imagen de la cirugía sobre los brazos robóticos.



Figura 6 – Soporte en docencia. Tablas, figuras, esquemas, vídeos y modelos 3D virtuales como herramientas de soporte para la docencia universitaria.

conectaron simultáneamente. Un cirujano que no estaba directamente relacionado con la cirugía retransmitía los procedimientos y respondía las preguntas de los estudiantes con el apoyo de imágenes, vídeos y modelos 3D holográficos (fig. 6).

Se entregó una encuesta de satisfacción a los estudiantes que constó de 12 preguntas, 4 relacionadas con la calidad técnica de las imágenes emitidas y 8 relacionadas con aspectos didácticos. Se recibieron 42 respuestas (un 58,3%). Las imágenes de vídeo y RA obtuvieron buenos puntajes. En cuanto a la evaluación académica, 35 estudiantes (83,3%) consideraron que el contenido virtual facilita la comprensión de la cirugía y 27 (64,3%) respondieron que con esta tecnología era más fácil de ver y comprender las cirugías que físicamente

en el quirófano. Además, 40 alumnos (95,2%) querían que este nuevo tipo de enseñanza se introdujera en los programas oficiales de las asignaturas.

Discusión de la experiencia

La RA, una tecnología relativamente nueva que combina entornos reales con hologramas virtuales con los que se puede interactuar como si fueran reales, puede ayudar a mejorar los resultados y la experiencia percibida en cirugía HBP.

Con relación a la planificación quirúrgica, la anatomía de los pacientes y las relaciones entre órganos y lesiones neoplásicas se evalúan mediante imágenes radiológicas, como TC o RM.

Esto requiere una gran experiencia, ya que algunas imágenes pueden ser difíciles de entender, y los modelos mentales que cada uno se genera de ello pueden diferir de los hallazgos reales en la cirugía¹⁴. Recientemente, ha aparecido un nuevo paradigma, introduciendo modelos 3D y la impresión 3D. La obtención de modelos virtuales 3D a partir de TC/RM fue el primer paso hacia una comprensión más fácil, rápida y detallada de la anatomía del paciente, lo que facilitó la planificación de los procedimientos quirúrgicos¹⁵⁻¹⁷. Sin embargo, los modelos 3D debían visualizarse en monitores 2D y los modelos impresos 3D son sólidos y estáticos, no manipulables, lo que limita su utilidad. Con la RA, estos modelos 3D se pueden visualizar como hologramas que se pueden manipular como si fueran reales. También se puede modificar en tiempo real la composición de estos modelos, añadiendo o sustrayendo componentes anatómicos. Por ello, la evaluación anatómica resulta inmediata, lo que reduce la experiencia previa necesaria y elimina, en cierta manera, las diferencias de comprensión entre los cirujanos. Esto es especialmente útil en órganos volumétricos como la cirugía hepática, donde las metástasis dentro del parénquima pueden ser difíciles de localizar o interpretar. Además, respecto a los modelos impresos reduce considerablemente los residuos generados.

Esto es ya una realidad, pero lo más interesante es la proyección de esta línea de trabajo. Ya existen prototipos de programas que permiten realizar planificaciones quirúrgicas virtuales, pudiendo establecer líneas de transección, márgenes quirúrgicos o cálculos volumétricos automatizados. Todo ello tiene 2 claras implicaciones. Por un lado, nos permite asistir a los procedimientos quirúrgicos con una preparación mucho mayor, disminuyendo el riesgo de eventos adversos o situaciones no previstas y, por otro lado, nos permite avanzar en el concepto de medicina personalizada.

También resulta interesante el soporte intraoperatorio que, de otra forma, actualmente es inexistente.

La superimposición de los modelos virtuales 3D sobre la anatomía del paciente supone el siguiente paso evolutivo natural a la navegación intraoperatoria. Tal como Saito et al. constataron, aspectos como la identificación intraoperatoria de estructuras relevantes o la localización de lesiones neoplásicas en órganos volumétricos como el hígado, son algunos de sus beneficios que permite hacer evaluaciones intraoperatorias más rápidas y fiables¹⁸.

Sin embargo, nuestra experiencia con la superimposición, aunque prometedora, ha demostrado tener todavía múltiples limitaciones tecnológicas. Los modelos actuales no permiten una colocación automática sobre la anatomía del paciente, lo que implica que se debe hacer de forma manual y que cualquier movimiento del órgano diana hace que se pierda la sincronía con el modelo. Del mismo modo, cualquier deformación de la anatomía objetivo hace que el modelo virtual deje de ser fiable. También hay que esperar que mejore la definición de los hologramas 3D ya que, para ser útiles como guía intraoperatoria, se requiere poder ver más detalles de lo que ofrecen actualmente.

En cambio, los recursos virtuales de apoyo, entendidos como la posibilidad de disponer en nuestro campo estéril de modelos 3D, imágenes 3D de la TC o la RM, informes médicos, vídeos demostrativos o incluso monitores virtuales para

cirugías mínimamente invasivas, sí que suponen un avance y facilitan el procedimiento quirúrgico. Resulta especialmente llamativo el hecho de poder substituir monitores físicos, prescindiendo de ellos, por monitores virtuales en un momento en que la irrupción de la cirugía robótica limita los espacios en quirófano y aumenta los costes. Si bien también se deben mejorar las latencias y definiciones existentes, las soluciones actuales ya son suficientemente buenas como para poder hacer uso de ellas y avanzar hacia quirófanos libres de monitores físicos.

Por otro lado, en un momento en que la telemedicina ha avanzado de forma necesaria por la pandemia, es interesante el concepto de «mentoring virtual» que nos ofrece la RA⁹. Lo interesante de esta nueva experiencia, a diferencia de las videollamadas convencionales, es el hecho de poder tener la presencia virtual del cirujano senior en el quirófano con los cirujanos junior. La capacidad de comunicación y comprensión del caso se maximizan siendo, prácticamente, como si el cirujano consultor estuviera físicamente en el quirófano.

Si bien esto requiere tener buenos canales de comunicación y equipos expertos para conseguir una conexión adecuada, consideramos que esta es la línea de futuro de colaboración entre instituciones, sobre todo en sistemas sanitarios basados en centros de complejidad media o baja que estén asociados a centros HBP de alta complejidad de referencia.

Finalmente, uno de los aspectos más interesantes de esta tecnología aplicada a procedimientos complejos como la cirugía HBP es la docencia, tanto a nivel universitario como en cursos y congresos.

Nuestra experiencia en 3 procedimientos HBP, uno de baja complejidad como la colecistectomía y 2 de alta complejidad como la DPC o una hepatectomía mayor, fue de gran interés y aceptación. Permite la posibilidad de que un gran número de estudiantes puedan asistir de forma simultánea a la cirugía con un buen campo de visualización y sin tener que desplazarse. Creemos que es una realidad generalizada que la visualización del campo quirúrgico de forma presencial, cuando se trata de cirugía abierta, se ve claramente limitada a mayor número de personas en el quirófano. En el caso de cirugías mínimamente invasivas esta limitación se debe a la falta de espacios físicos donde ubicar los monitores y a los diferentes estudiantes. Todo ello queda resuelto al poder emitir el procedimiento quirúrgico a dispositivos externos manteniendo la capacidad de comunicación.

Este hecho, por sí solo, no añadiría mucho valor respecto a la emisión de una cirugía de forma convencional por videollamada. Sin embargo, el aspecto que marca la diferencia son los recursos virtuales que complementaron la emisión de la cirugía. Tal como se ha descrito en ámbitos como la simulación o la docencia de anatomía^{19,20}, el poder contar con imágenes, diagramas, vídeos explicativos y modelos 3D, de forma virtual durante la visualización del procedimiento, hizo que la mayoría de los participantes consideraran que la comprensión de la cirugía había sido incluso mejor que de forma presencial en el quirófano²¹.

Por todo lo descrito, y con la experiencia adquirida hasta el momento, consideramos que la RA es una tecnología que nos permitirá dar un salto cualitativo a los procedimientos quirúrgicos HBP. Sin embargo, se requieren estudios que

aporten evidencia científica específica de cada una de las líneas de trabajo comentadas.

Financiación

La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Conflicto de intereses

Manel Cremades Pérez colabora en tareas de consultoría con Apoqlar GmbH, sin percibir remuneración.

Esteban Cugat Andorrà colabora en tareas de consultoría con Cella Medical Solutions SL, sin percibir remuneración.

BIBLIOGRAFÍA

- Alferi S, Boggi U, Butturini G, Pietrabissa A, Morelli L, Di Sebastiano P, et al. Full Robotic Distal Pancreatectomy: Safety and Feasibility Analysis of a Multicenter Cohort of 236 Patients. *Surg Innov.* 2020;27:11–8.
- Liu R, Wakabayashi G, Kim HJ, Choi GH, Yiengpruksawan A, Fong Y, et al. International consensus statement on robotic hepatectomy surgery in 2018. *World J Gastroenterol.* 2019;25:1432–44.
- Cugat Andorrà E, Cremades Perez M, Navinés López J, Matallana Azorín C, Zárata Pinedo A, Pardo Aranda F et al. Challenge and future of liver and pancreatic robotic surgery. Analysis of 64 cases in a specialized unit [Article in English, Spanish]. *Cir Esp (Engl Ed).* 2021 doi: 10.1016/j.ciresp.2021.01.009.
- De Rooij T, Lu MZ, Steen MW, Gerhards MF, Dijkgraaf MG, Busch OR, et al. Minimally Invasive Versus Open Pancreatoduodenectomy: Systematic Review and Meta-analysis of Comparative Cohort and Registry Studies. *Ann Surg.* 2016;264:257–67.
- Alferi S, Boggi U, Butturini G, Pietrabissa A, Morelli L, Di Sebastiano P, et al. Full Robotic Distal Pancreatectomy: Safety and Feasibility Analysis of a Multicenter Cohort of 236 Patients. *Surg Innov.* 2020;27:11–8.
- Cremades M, Ferret G, Parés D, Navinés J, Espin F, Pardo F, et al. Telemedicine to follow patients in a general surgery department. A randomized controlled trial. *Am J Surg.* 2020;219:882–7.
- Noba L. Enhanced Recovery After Surgery (ERAS) Reduces Hospital Costs and Improve Clinical Outcomes in Liver Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Gastrointest Surg.* 2020;24:918–32.
- Ghaednia H, Fourman MS, Lans A, Detels K, Dijkstra H, Lloyd S, et al. Augmented and virtual reality in spine surgery, current applications and future potentials. *Spine J.* 2021;21:1617–25.
- Rojas-Muñoz E, Cabrera ME, Andersen D, Popescu V, Marley S, Mullis B, et al. Surgical Telementoring Without Encumbrance: A Comparative Study of See-through Augmented Reality-based Approaches. *Ann Surg.* 2019;270:384–9.
- Hu HZ, Feng XB, Shao ZW, Xie M, Xu S, Wu XH, et al. Application and Prospect of Mixed Reality Technology in Medical Field. *Curr Med Sci.* 2019;39:1–6.
- Uruthiralingam U, Rea PM. Augmented and Virtual Reality in Anatomical Education – A Systematic Review. *Adv Exp Med Biol.* 2020;1235:89–101.
- Duarte ML, Santos LR, Guimarães Júnior JB, Peccin MS. Learning anatomy by virtual reality and augmented reality. A scope review. *Morphologie.* 2020;104:254–66.
- Camargo CP, Tempski PZ, Busnardo FF, de Arruda Martins M, Gemperli R. Online learning and COVID-19: A meta-synthesis analysis. *Clinics (Sao Paulo).* 2020;75:e2286.
- Eid JJ, Macedo FIB, Negussie E, Mittal VK. Assessing surgical residents' imaging interpretation skills. *Am J Surg.* 2017;213:498–501.
- Bailer R, Martin RCG. The effectiveness of using 3D reconstruction software for surgery to augment surgical education. *Am J Surg.* 2019;218:1016–21.
- Tam MDBS, Laycock SD, Brown JRI, Jakeways M. 3D printing of an aortic aneurysm to facilitate decision making and device selection for endovascular aneurysm repair in complex neck anatomy. *J Endovasc Ther.* 2013;20:863–7.
- Lopez-Lopez V, Robles-Campos R, García-Calderon D, Lang H, Cugat E, Jiménez-Galanes S, et al. Applicability of 3D-printed models in hepatobiliary surgery: Results from "LIV3DPRINT" multicenter study. *HPB (Oxford).* 2021;23:675–84.
- Saito Y, Sugimoto M, Imura S, Morine Y, Ikemoto T, Iwahashi S, et al. Intraoperative 3D Hologram Support With Mixed Reality Techniques in Liver Surgery. *Ann Surg.* 2020;271:e4–7.
- Lungu AJ, Swinkels W, Claesen L, Tu P, Egger J, Chen X. A review on the applications of virtual reality, augmented reality and mixed reality in surgical simulation: An extension to different kinds of surgery. *Expert Rev Med Devices.* 2021;18:47–62.
- Wish-Baratz S, Crofton AR, Gutierrez J, Henninger E, Griswold MA. Assessment of Mixed-Reality Technology Use in Remote Online Anatomy Education. *JAMA Netw Open.* 2020;3:e2016271e20162712022.
- Williams MA, McVeigh J, Handa AI, Lee R. Augmented reality in surgical training: A systematic review. *Postgrad Med J.* 2020;96:537–42.