



# CIRUGÍA ESPAÑOLA

[www.elsevier.es/cirugia](http://www.elsevier.es/cirugia)



## Editorial

# Fundamentos y valor clínico de la cirugía asistida por ordenador

## Fundaments and clinical value of Computer Assisted Surgery

La cirugía asistida por ordenador (*computer assisted surgery* [CAS]) es tanto un concepto quirúrgico como un conjunto de métodos de tecnología informática o de computación para la planificación preoperatoria y para la planificación y la realización de una intervención quirúrgica. En cierta medida, podríamos considerar que el origen de la CAS en la práctica clínica corresponde a la «revolución» causada por la introducción de la cirugía mínimamente invasiva durante los años noventa. De hecho, la laparoscopia avanzada, tal como la conocemos hoy, no habría sido posible sin el uso de microcámaras, fuentes luminosas y dispositivos de insuflación de flujo alto, todos ellos controlados por microprocesadores. El paso de la cirugía a la era de la informática ha tenido lugar a costa de algunos de los elementos básicos de la cirugía tradicional: control táctil, visión estereoscópica, destreza manual y control visual completo del campo quirúrgico. La superación de estas desventajas se ha conseguido en parte gracias al desarrollo de instrumentos eléctricos para la disección y el cierre tisular, y recientemente, con los avances que se han efectuado en la adquisición y la presentación de imágenes de alta definición, así como con la introducción de la cirugía robótica. No obstante, la pérdida parcial del control físico del entorno intraoperatorio, que es característica de la laparoscopia, todavía limita esta estrategia, de manera que la práctica de la cirugía general sólo se puede aplicar a un número variable de pacientes. El coste económico también desempeña un papel importante en nuestra época de limitación de los recursos sanitarios, y que los gestores sanitarios adopten la nueva metodología para la evaluación tecnológica y la validación científica constituye una estrategia recomendable para evitar la difusión incontrolada de tecnología médica cara y, en ocasiones, inútil.

Dada la inesperada e impresionante evolución de la que hemos sido testigos en la práctica de la cirugía general a lo largo de los últimos dos decenios, nos podríamos preguntar hacia dónde nos dirigimos y qué va a ser lo siguiente para mejorar nuestra práctica quirúrgica. En paralelo al intenso progreso tecnológico que ha modificado de manera permanente nuestra profesión, el mundo de la adquisición y el

procesamiento de imágenes médicas también ha presentado una revolución similar. La mayor parte de los cirujanos están familiarizados con los conceptos de tomografía computarizada (TC) espiral en capas múltiples y con alta definición, de resonancia magnética (RM) con resolución alta y de imágenes funcionales como las obtenidas mediante tomografía con emisión de positrones (PET), así como la capacidad para procesar todo el flujo de datos de manera que el usuario final pueda realizar reconstrucciones tridimensionales (3D) o mediante fusión de imágenes; a consecuencia de ello, una proporción importante de nuestros procesos de planificación quirúrgica ya está fundamentada en las imágenes médicas. A pesar de este avance, todavía quedan obstáculos importantes por salvar para conseguir sistemas fiables, de uso sencillo e interacción intuitiva que permitan alcanzar los tres objetivos principales para el futuro de la CAS: planificación prequirúrgica, realidad potenciada y navegación intraoperatoria. En cualquier caso, tengo pocas dudas de que la próxima revolución en cirugía vendrá de la mano de la integración de las imágenes médicas preoperatorias e intraoperatorias durante la realización del propio procedimiento; en otras palabras, de la mano de la CAS. Este proceso de fusión entre radiología y cirugía también modificará el entorno físico de nuestros quirófanos.

ENDOCAS (Center for Computer Assisted Surgery) es el centro de cirugía asistida por ordenador de la Universidad de Pisa, Italia. Este centro se inauguró en 2003 con el objetivo principal de poner en contacto a especialistas de orígenes distintos que en los contextos habituales tienen dificultades para reunirse o trabajar en conjunto: radiólogos, ingenieros, especialistas en computación y cirujanos. La creación de este centro fue el resultado de una propuesta conjunta de la Universidad de Pisa, la Scuola Superiore S. Anna y el Visual Computing Laboratory (ISTI-CNR), en el marco de la financiación ofrecida por el Ministero Italiano di Università e Ricerca (MIUR) para la creación de centros de excelencia. Su objetivo es eliminar las barreras a los conocimientos, la tecnología y el diseño de sistemas que impiden el desarrollo de los sistemas CAS.

---

## Planificación prequirúrgica

Mediante el uso de programas informáticos específicos es posible transformar el conjunto de datos obtenidos con la TC del paciente en un modelo 3D virtual de la anatomía de la zona sobre la que se va a intervenir. La recuperación de la superficie externa de un órgano o la representación 3D de un árbol arterial podría tener relevancia para la planificación preoperatoria y también se podría utilizar para la determinación de parámetros diagnósticos cuantitativos como el volumen del hígado que es necesario extirpar para tratar un tumor o la proporción del parénquima que el cirujano no va a tocar. La planificación prequirúrgica no añade información nueva a la ofrecida por la TC original; lo que hace es presentar los mismos datos, pero de una forma mejor para una comprensión más sencilla para el usuario final. Sin embargo, esta tarea puede ser difícil incluso en los casos aparentemente sencillos de regiones visualmente uniformes, como los vasos inyectados con contraste, y los programas informáticos de extracción de los datos existentes hoy en día todavía requieren experiencia de uso y tiempos de procesamiento prolongados. En ENDOCAS hemos desarrollado un sistema semiautomático de representación regional fundamentado en el algoritmo de la burbuja. Este método consiste en introducir una burbuja deformable y muy pequeña en el interior de la estructura que se pretende segmentar (p. ej., la aorta, la vena porta o el parénquima esplénico) para después insuflarla. Podemos considerar la burbuja como una malla triangulada. El objetivo final del proceso es ajustar la burbuja sobre la superficie de la estructura. Este proceso ofrece un modelo 3D de extracción muy preciso y rápido correspondiente a la anatomía interna del paciente determinada a partir del conjunto de datos ofrecidos por la TC y se ha demostrado que es más preciso y fiable que los sistemas de segmentación convencionales. Es posible aplicar colores falsos para facilitar el reconocimiento de los órganos. Después, estos modelos son manipulados por el cirujano para conseguir proyecciones desde ángulos distintos. El cirujano puede «introducirse» en la estructura anatómica para evaluar mejor el caso y establecer el plan terapéutico. Por otra parte, la posibilidad de realizar la fusión de imágenes morfológicas y funcionales añade una serie de ventajas potenciales en el contexto específico de la cirugía laparoscópica. Por ejemplo, en pacientes en los que se planifica la realización de una miotomía de Heller frente a la acalasia es posible la reconstrucción 3D de la unión gastroesofágica según las diferentes presiones intraluminales detectadas mediante manometría preoperatoria; también es posible que el cirujano mantenga una visualización volumétrica de las áreas hipermetabólicas detectadas mediante la PET.

---

## Realidad potenciada

El uso de la información visual preoperatoria directamente sobre la zona de tratamiento del paciente, en combinación con la visualización real de dicha zona, se denomina realidad mixta o potenciada. La potenciación ofrece al cirujano una ayuda visual generada por ordenador que le permite localizar

estructuras internas, lo que puede guiarlo a través de las diferentes fases de una intervención dada. Para ello, el cirujano debe utilizar unas gafas especiales o un casco estereoscópico en los que tiene lugar la fusión de las imágenes. Para armonizar el punto de vista del cirujano y la reconstrucción apropiada de la anatomía del paciente, es necesario monitorizar los movimientos de la cabeza del cirujano mediante un sistema de seguimiento óptico o electromagnético. El ordenador establece la correspondencia entre la visión en tiempo real y las reconstrucciones 3D basadas en las imágenes preoperatorias. La realidad potenciada hará que nuestros pacientes sean virtualmente transparentes y, finalmente, sustituirá a los sistemas actuales de visualización utilizados para la transferencia de información morfológica, no solamente para beneficio del cirujano, sino también para simplificar las evaluaciones basadas en imágenes. Otra aplicación potencialmente útil de la tecnología de potenciación de la realidad es la fusión durante el propio procedimiento de las imágenes de TC con las imágenes ecográficas en tiempo real.

---

## Navegación intraoperatoria

La tecnología de navegación utiliza una plataforma fundamentada en modelos 3D de realidad virtual (VR) correspondientes a la anatomía del paciente y en los que los instrumentos quirúrgicos utilizados por el cirujano son seguidos por un dispositivo óptico de localización, de manera que su imagen virtual se puede desplazar en el interior del modelo. Todavía no se ha demostrado la utilidad de esta tecnología en la cirugía laparoscópica, pero podemos anticipar una precisión mayor en la localización del objetivo anatómico y en la planificación de la intervención. El obstáculo principal al que se enfrenta la tecnología de navegación intraoperatoria en cirugía general es el desplazamiento de los órganos y la deformación tisular causados ambos por el neumoperitoneo, la fuerza de la gravedad y el manejo de los tejidos. Para solucionar este problema, los cirujanos deben actualizar su modelo 3D en función de los datos reales del paciente después de que se ha producido la deformación de los órganos. El uso sistemático de los métodos de ayuda informática en cirugía todavía se limita a la planificación diagnóstica y quirúrgica, y a las intervenciones que se realizan fundamentalmente sobre estructuras rígidas, especialmente en lo que se refiere a la parte traumatológica de las enfermedades neuroquirúrgicas. En el centro ENDOCAS estamos intentando solucionar este problema mediante enfoques distintos. Uno de ellos es la adaptación del modelo VR a los movimientos fisiológicos, tal como los desplazamientos que tienen lugar con los movimientos respiratorios y con la pulsación de los vasos, que son detectados y anticipados por la monitorización de la ventilación y de la frecuencia del pulso. Lo más importante es que también estamos introduciendo información relativa a la profundidad intraoperatoria mediante el desarrollo de un sistema óptico 3D de recuperación de la profundidad y el movimiento en tiempo real. De esta manera conseguiremos una actualización continuada del modelo VR durante el procedimiento, de manera que sea posible su armonización

con la imagen que ofrece la cámara endoscópica. Hay otros sistemas adicionales utilizados para alcanzar resultados similares que pueden utilizar la radiología o la RM intraoperatoria, pero también presentan limitaciones concretas que hasta el momento han impedido su aplicación práctica.

## Conclusiones

Las tecnologías de la información descritas en estas notas todavía no están plenamente a disposición de los cirujanos generales, pero rápidamente se traducirán en productos con los que todos nosotros estaremos familiarizados en la próxima generación de quirófanos. Estos quirófanos serán probablemente espacios de intervención en los que serán posibles las técnicas de fusión de imágenes y la tecnología de navegación, no solamente para que las utilicen los cirujanos generales, sino también todos los profesionales que ya están fundamentando sus modalidades terapéuticas en las imágenes. No necesitamos inventar nuevas tecnologías debido a que la mayor parte de las que necesitamos para conseguir estos avances (y que se han descrito en este artículo) ya están implementadas o en fase de desarrollo teórico. Lo único necesario es decidir la forma con la que se deben utilizar las tecnologías ya existentes para crear nuevos dispositivos y desarrollar aplicaciones clínicas que faciliten la práctica de nuestra profesión y que introduzcan mayor seguridad para los pacientes. Ésta es nuestra misión en ENDOCAS.

## BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

1. Baumhauer M, Feuerstein M, Meinzer HP, Rassweiler J. Navigation in endoscopic soft tissue surgery: perspectives and limitations. *J Endourol.* 2008;22:751-66.
2. Breitenstein S, Nocito A, Puhan M, Held U, Weber M, Clavien PA. Robotic-assisted versus laparoscopic cholecystectomy: outcome and cost analyses of a case-matched control study. *Ann Surg.* 2008;247:987-93.
3. Feuerstein M, Mussack T, Heining SM, Navab N. Intraoperative laparoscope augmentation for port placement and resection planning in minimally invasive liver resection. *IEEE Trans Med Imaging.* 2008;27:355-69.
4. Holly LT. Neurosurgical robotics. *Int J Med Robot.* 2006;2:105-6.
5. Langø T, Tangen GA, Mårvik R, Ystgaard B, Yavuz Y, Kaspersen JH, et al. Navigation in laparoscopy-prototype research platform for improved image-guided surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol.* 2008;17:17-33.
6. Merrell RC. Telemedicine and telesurgery in the operating room. *Bull Am Coll Surg.* 2005;90:8-13.
7. Minami Y, Chung H, Kudo M, Kitai S, Takahashi S, Inoue T, et al. Radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma: value of virtual CT sonography with magnetic navigation. *AJR Am J Roentgenol.* 2008;190:W335-41.
8. Nakamoto M, Nakada K, Sato Y, Konishi K, Hashizume M, Tamura S. Intraoperative magnetic tracker calibration using a magneto-optic hybrid tracker for 3-D ultrasound-based navigation in laparoscopic surgery. *IEEE Trans Med Imaging.* 2008;27:255-70.
9. Stiehl JB, Heck DA. Computer-assisted surgery: basic concepts. *Instr Course Lect.* 2008;57:689-97.

Andrea Pietrabissa

Department of Oncology, Transplantation and New Technology in  
Medicine of the University of Pisa, ENDOCAS Center for Computer  
Assisted Surgery at the University of Pisa, Italia  
Correo electrónico: [a.pietrab@med.unipi.it](mailto:a.pietrab@med.unipi.it)

0009-739X/\$ - see front matter

© 2008 AEC. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los  
derechos reservados.

doi:10.1016/j.ciresp.2008.07.008