

Estado actual de la cirugía. Cirugía robótica y telecirugía

Jacques Marescaux

Introducción

El desarrollo de las técnicas de cirugía de mínima invasión, en el decenio de 1980 por un cirujano francés, es una de las innovaciones quirúrgicas más trascendentales, hasta el punto que se ha considerado “la segunda revolución francesa”. La cirugía de mínima invasión sigue los principios fundamentales de la cirugía tradicional abierta, con la ventaja considerable de la reducción del traumatismo en los tejidos, puesto que el campo de operación se consigue mediante incisiones limitadas en la piel y la manipulación de los órganos se realiza con micro-instrumentos. La cirugía de mínima invasión es un movimiento inicial hacia el proceso de distanciamiento cirujano-paciente. Sin embargo, la cirugía de mínima invasión tiene algunos problemas: percepción de la profundidad reducida porque los monitores planos estándar ofrecen una visión 2D, desconexión mano-ojo que disminuye la conducción tacto-visual, campo visual reducido y concentrado, y sensación táctil disminuida. Las ciencias de la computación y la robótica produjeron, al final del siglo XX, la tecnología para facilitar la cirugía de mínima invasión. La plataforma quirúrgica comercialmente accesible, el sistema DaVinci® (Surgical Intuitive Inc, Sunnyvale, CA) está equipada con una cámara binocular que proporciona una visión estereoscópica, amplificada 10 veces y de alta resolución. También ofrece una interface háptica que permite al cirujano operar mientras permanece confortablemente sentado. El cirujano controla los efectores con movimientos naturales de sus manos, que son replicados precisamente a

través de la tecnología Endowrist® con un movimiento a una escala menor y con menos tremor (Figura 1). La robótica ha llevado al extremo las posibilidades del proceso de distanciamiento cirujano-paciente, estableciendo las bases para la “telecirugía”.

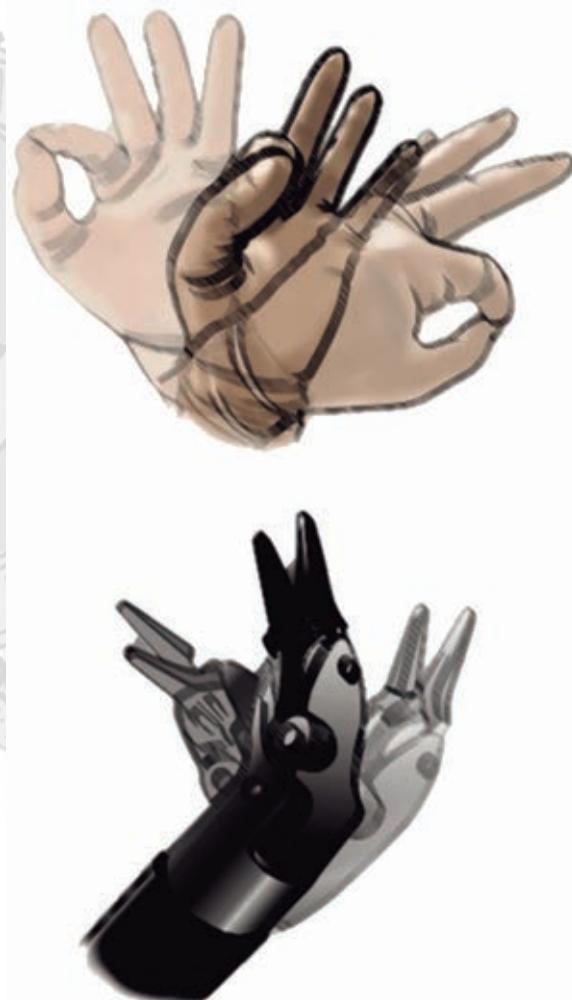


Figura 1. Tecnología Endowrist®.

Los efectores de la paltaforma robótica DaVinci® (Quirúrgicamente Intuitiva), replican los movimientos de la mano humana y permiten la manipulación quirúrgica precisa e intuitiva.

MD, FACS, (Hon) FRCS, (Hon) FJSES ; Michele Diana MD

Correspondencia:

Jacques Marescaux, MD, FACS, (Hon) FRCS, (Hon) FJSES
1, Place de l'Hôpital
67091, Strasbourg, France
Fax: +33 3 88 11 90 28
jacques.marescaux@ircad.fr

Recibido: 12 de julio 2013

Aceptado: 19 de julio 2013

La asistencia robótica confiere al cirujano incuestionable aumento en la destreza mínimamente invasiva. Todavía es materia de debate si esta mejora se traduce en beneficios significativos para el paciente. El telemanipulador robótico sigue siendo una tecnología muy atrayente y ventajosa con un papel decisivo en el mercado y que puede incrementar el reclutamiento de pacientes. Las desventajas, como los altos costos y tiempos de ajuste más largos, comparados con la cirugía abierta y la cirugía laparoscópica, pueden reducirse con la mayor experiencia en la robótica, y por la próxima ruptura del monopolio de "Surgical Intuitive" con nuevas generaciones de plataformas robóticas quirúrgicas todo-en-uno, que próximamente estarán en el mercado.

Asistencia robótica en cirugía gastrointestinal

Mientras que para procedimientos quirúrgicos digestivos simples, como colecistectomía, reparación laparoscópica de hernia, bandeo gástrico o gastrectomía vertical en manga, la participación de la asistencia robótica parece actualmente aún limitada, con una relación costo-beneficio desfavorable para los pacientes, algunas técnicas laparoscópicas muy demandantes podrían realmente beneficiarse de la asistencia robótica con una posible ampliación en su penetración. Como ejemplo, la pancreato-duodenectomía laparoscópica que se realizó en la década de 1990, tuvo una comprensión muy discreta. Julianotti y su grupo reportaron, por primera vez, una serie de 60 pancrato-duodenectomías laparoscópicas asistidas por robot.¹ Los autores pudieron concluir que el abordaje robótico fue seguro, con una tasa de complicaciones comparable a la de la cirugía abierta, y con las ventajas de un abordaje mínimamente invasivo. De manera similar, la asistencia robótica podría ser beneficiosa en la cirugía de hígado, pues ofrece la disección microquirúrgica y el control de los elementos del pedúnculo hepático, especialmente en casos que se requiere la reconstrucción biliar, que es difícil con la laparoscopia estándar. La serie más grande de resecciones hepáticas robóticas la reportaron Julianotti y colaboradores, con 27 resecciones mayores de hígado (3 segmentos de hígado), y 43 resecciones menores.² Nosotros realizamos, recientemente, una serie de resecciones hepáticas robóticas guiadas por realidad aumentada. La guía, en tiempo real, basada en un modelo anatómico 3D específico del paciente, obtenido mediante un *software* de reconstrucción de imágenes preoperatorias, combinada con la destreza máxima ofrecida por el manipulador robótico, permitió la resección segmentaria directa del hígado con control vascular preciso de las ramas portales e identificación precisa de los márgenes de resección.

Para la cirugía oncológica de esófago, la asistencia robótica puede mejorar la disección en la cavidad torácica

gracias a la mayor destreza, el campo aumentado en tercera dimensión, y la habilidad para conseguir una exposición estable. Sin embargo, no se han efectuado ensayos aleatorizados y la evidencia actual no es suficiente para apoyar el uso amplio de la tecnología robótica en este campo. De manera similar, muchos investigadores piensan que la robótica puede facilitar las disecciones precisas de nódulo linfático en gastrectomía mínimamente invasiva por cáncer. Sin embargo, a pesar de que es seguro y factible, las ventajas reales de la gastrectomía robótica siguen siendo difíciles de identificar.³

La derivación gástrica en Y de Roux laparoscópica es un procedimiento particularmente difícil con una empinada curva de aprendizaje. La robótica tiene el potencial de disminuir al mínimo los requerimientos para adquirir la competencia, como lo reportan algunos autores. Además, el aumento en la habilidad de sutura puede usarse para realizar anastomosis gastrointestinales "manuales", libres de grapas en un límite de tiempo operativamente conveniente. La cirugía colorrectal es otro campo de la cirugía gastrointestinal en el que la robótica podría garantizar continuidad hacia mayor implementación del abordaje mínimamente invasivo. Ya han transcurrido, aproximadamente, 10 años desde las primeras resecciones colorrectales robóticas, y se ha reportado cierta evidencia de ventajas potenciales, sobre todo en resecciones rectales, con una tasa de conversión a cirugía abierta significativamente menor. A pesar del hecho de que estos datos provienen de estudios no aleatorizados, las experiencias acumuladas alientan la realización de más ensayos en cirugía rectal asistida por robótica. La visión amplificada estereoscópica 3D podría ser un complemento valioso para una escisión mesorrectal total con preservación de nervios y los resultados funcionales podrían ser el punto final óptimo para continuar evaluando la destreza robótica en la pelvis.

Telecirugía

La idea de aplicar la tecnología robótica a la cirugía se remonta a la década de 1970, cuando un proyecto militar de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) se propuso proporcionar atención quirúrgica a los astronautas con robots manejados a control remoto, así como reemplazar la presencia física del cirujano en situaciones de accidentes masivos en ambientes hostiles, como una guerra o catástrofes naturales. La primera generación de robots quirúrgicos que ingresó a la sala de operaciones se diseñó para realizar tareas de precisión guiadas por imagen, pero estaba limitada por interfases básicas de computadora. La evolución de los robots quirúrgicos condujo a la generación actual de telemanipuladores en

tiempo real. En estas unidades, la consola control “maestra”, desde la que opera el cirujano, está separada físicamente de la unidad “esclava”, compuesta por los brazos robóticos que llevan a cabo la cirugía en el paciente. La velocidad de transmisión de los datos es el reto principal en las operaciones controladas a distancia, particularmente cuando se trata de grandes distancias o la infraestructura de retransmisión es insuficiente. La latencia de la red afecta el desempeño quirúrgico con un tiempo de conclusión de la tarea más grande, con un factor de 1.5 y 2 en retrasos de 250 y 500 msec, respectivamente, comparado con la ausencia de retraso. La latencia en la transmisión de datos limitó la telemanipulación a unos pocos cientos de kilómetros. En septiembre de 2001, nuestro equipo efectuó el primer procedimiento quirúrgico transatlántico (Operación Lindbergh) a la distancia entre Nueva York (Estados Unidos) y Estrasburgo (Francia). La operación Lindbergh es un hito en la telecirugía global.^{4,5} El cirujano estaba controlando la unidad maestra en Nueva York, mientras que el paciente en Estrasburgo era operado por el telemanipulador Zeus®. Esta proeza técnica fue posible gracias a los esfuerzos de France Telecom que proporcionaron una conexión de fibra óptica de alta velocidad con un retraso promedio de 155 msec, con modo de trasferencia asíncrona avanzado. La aplicación máxima para la telecirugía robótica es, quizás, la que inicialmente concibió la NASA: proporcionar atención quirúrgica a los astronautas durante misiones de exploración espacial de larga duración y a distancia extrema, en las que es fundamental la autosuficiencia de la tripulación espacial, para enfrentar emergencias quirúrgicas. Aún quedan muchos retos qué resolver para hacer esto posible y son: la capacidad de realizar la cirugía en condiciones de gravedad reducida, equipo y luz portátiles; y lo más importante, la posibilidad de trasmisión de datos a distancia cósmica. La factibilidad de la cirugía en gravedad cero se ha demostrado con la remoción de un quiste en un individuo humano a bordo de la nave aérea de la Agencia Espacial Europea (ESA) Airbus A-300 Zero-G. Las fases de ingravidez se consiguieron realizando curvas parabólicas. Además, está en progreso la investigación intensiva de miniaturización de telemanipuladores quirúrgicos y se han construido varios prototipos para aumentar las posibilidades de la telecirugía, ofreciendo plataformas más versátiles. Un ejemplo es el M7, que es un dispositivo robótico portátil y ligero, desarrollado por Stanford Research International, equipado con dos brazos con siete grados de libertad (DOF) y que integra retroalimentación háptica. El *software* del M7 es adecuado para teleoperaciones y en septiembre de 2007 se probó con éxito en la primera experiencia robótica de la NASA en gravedad cero durante vuelos parabólicos.⁵

La interacción en tiempo real entre la Tierra y la nave espacial está inversamente relacionada con la distancia. La velocidad de comunicación basada en internet es suficiente para practicar la telecirugía en la Tierra, con retrasos de alrededor de 400 msec. Con transmisiones basadas en satélite (señales propagadas a la velocidad de la luz = 300,000 km/seg) se experimentaría un retraso de aproximadamente un segundo en una distancia Tierra-Luna, que aún puede ser suficiente para procedimientos básicos controlados a distancia. Al aumentar la distancia, como ejemplo, para una distancia orbital promedio entre la Tierra y Marte (72 millones de kilómetros), el retraso sería de alrededor de 6 minutos, lo que significa que tanto los procedimientos en tiempo real controlados remotamente, como la teletutoría no serían posibles. La limitación para una teletutoría efectiva está, quizás, por debajo de un retraso de 60 segundos. Más allá de este límite, un cirujano adiestrado debería estar a bordo y ser capaz de trabajar “solo”.

La simulación preoperatoria con modelos de pacientes en realidad virtual, y sistemas de guía en tiempo real, basados en realidad aumentada, podría solucionar el monitoreo en tiempo semi-real del acto quirúrgico. Los programas de cómputo médico de realidad virtual pueden elaborar un modelo virtual 3D del paciente a partir del formato de imágenes “imagen digital y comunicación en medicina”. Este modelo virtual 3D permite navegar a través del cuerpo humano y efectuar una exploración virtual, resaltando detalles anatómicos que podrían ser desestimados en una imagen rutinaria.^{6,7} La exploración virtual puede usarse durante la fase preoperatoria para planear y simular el procedimiento quirúrgico. Durante la fase intraoperatoria, el modelo realidad virtual 3D puede sobreponerse en imágenes del paciente en tiempo real proporcionando una realidad aumentada. La fusión de imágenes en vivo e imágenes sintéticas específicas del paciente generadas por computadora puede proporcionar al cirujano, a una distancia extremadamente remota, una herramienta poderosa de navegación, resaltando estructuras blancas y variaciones anatómicas. En esta configuración de sala de operación interactiva que proporciona navegación asistida por computadora, el tiempo de retraso en la comunicación tierra-nave espacial sería menos significativo (Figura 2).

La telecirugía es fascinante pero aún no está madura y está llena de desafíos significativos, incluidos la velocidad de trasferencia de datos, plataformas robóticas quirúrgicas con poco peso, y costo-efectividad. Los beneficios potenciales de la telecirugía se están haciendo evidentes con el desarrollo de programas de teletutoría. Las aplicaciones específicas de proyectos militares y de misiones espaciales podrían ser el impulso para desarrollos futuros.

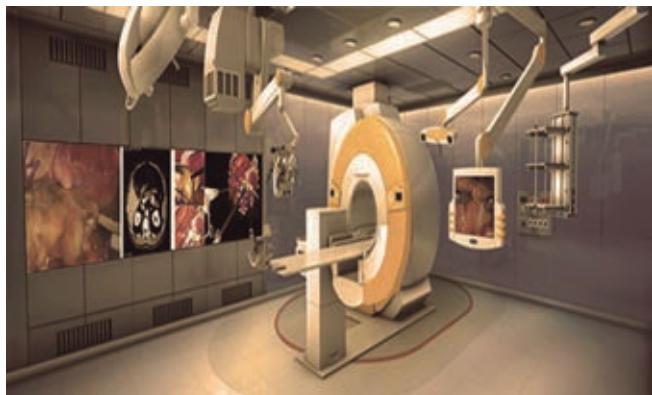


Figura 2. Sala de operaciones telequirúrgica interactiva. Vista de una sala de operaciones interactiva. La integración de monitores de realidad virtual y de realidad aumentada y de plataformas robóticas y de imagenología médica *on-site* ofrece la posibilidad de realizar procedimientos quirúrgicos controlados remotamente y la teletutoría.

Referencias

1. Julianotti PC, Sbrana F, Bianco FM, Elli EF, Shah G, Addeo P, et al. Robot-assisted laparoscopic pancreatic surgery: single-surgeon experience. *Surg Endosc* 2010;24:1646-1657.
2. Julianotti PC, Coratti A, Sbrana F, Addeo P, Bianco FM, Buchs NC, et al. Robotic liver surgery: Results for 70 resections. *Surgery* 2011;149:29-39.
3. Wall J, Marescaux J. Robotic Gastrectomy is Safe and Feasible, but Real Benefits Remain Elusive. Comment on “Robotic Gastrectomy as an Oncologically Sound Alternative to Laparoscopic Resections for the Treatment of Early-Stage Gastric Cancers”. *Arch Surg* 2011;146:1092.
4. Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* 2001;413:379-380.
5. Haidegger T, Sándor J, Benyó Z. Surgery in space: the future of robotic telesurgery. *Surg Endosc* 2011;25:681-690.
6. Nicolau S, Soler L, Mutter D, Marescaux J. Augmented reality in laparoscopic surgical oncology. *Surg Oncol* 2011;20:189-201.
7. D'Agostino J, Diana M, Vix M, Soler L, Marescaux J. Three-Dimensional Virtual Neck Exploration before Parathyroidectomy. *New Engl J Med* 2012;367:1072-1073.