

Robótica y medicina



Carlos Martínez Ramos

Servicio de Cirugía. Hospital Clínico San Carlos. Departamento de Cirugía.
Facultad de Medicina. Universidad Complutense. Madrid. España.

La robótica se está utilizando en medicina desde hace años en áreas como la radiología (los aparatos de tomografía computarizada utilizan elementos robóticos) o en los laboratorios clínicos, donde se emplea para tareas como el taponado y destaponado de muestras, para colocarlas y retirarlas de centrifugadoras, para el alicuotado o para su transporte. Sin embargo, el gran impacto de la robótica en la medicina se ha producido con su utilización en el ámbito quirúrgico. En 1985 se utilizó un brazo robótico (PUMA 560) para realizar biopsias neuroquirúrgicas con mayor precisión. En 1992 se utilizó un robot (RoboDoc) para taladrar el fémur, mecánicamente y con más exactitud, en la realización de la artroplastia total de cadera, siendo este robot el primero aprobado por la Food and Drugs Administration¹. Pero el verdadero impulso de la robótica se ha producido como consecuencia de la introducción de la cirugía laparoscópica, siendo necesario analizar dicho fenómeno para comprender el desarrollo actual de la cirugía robótica.

La cirugía ha experimentado una evolución extraordinaria durante los últimos 150 años (la antisepsia, la anestesia, los antibióticos, la nutrición parenteral, la circulación extracorpórea, el desarrollo de prótesis, los trasplante de órganos, etc.), pero, a pesar de todos estos avances, las herramientas quirúrgicas y las técnicas permanecieron básicamente invariables en lo que respecta al gesto de «cortar y coser» con instrumentos manuales. También permaneció inalterada la necesidad de realizar la intervención quirúrgica mediante la visión y el contacto directos con el órgano o tejido objeto de la intervención.

En 1987, con la realización de la primera colecistectomía laparoscópica, se produce un cambio paradigmático en la cirugía, pues el cirujano ya no tiene que ver ni tocar directamente los tejidos u órganos que opera. La cirugía laparoscópica hace accesibles, mediante la utilización de pequeñas videocámaras, regiones anatómicas que antes requerían grandes incisiones y que ahora se visualizan a través de un monitor. El uso de estas técnicas modificó no sólo la ejecución de operaciones concretas, sino también el enfoque estratégico de toda la cirugía en su conjunto.

Con todo, al margen de las conocidas ventajas que ha aportado esta cirugía, llamada de «acceso mínimamente invasivo», también ha incorporado importantes limitaciones. Entre ellas hay que destacar la pérdida de la sensación de profundidad producida por la visión en 2 dimensiones que proporciona el monitor, que al amplificar la imagen incrementa también el temblor que, en mayor o menor grado, existe de manera fisiológica en las manos del cirujano. Se utiliza un instrumental largo, rígido, no articulado y con gran limitación de movimientos, el cual, al ser observado a través del monitor, produce una situación contraria a la intuición natu-

ral (imagen en espejo), por lo cual es necesario mover el instrumental en dirección opuesta a la que queremos dirigirlo (efecto *fulcrum* o de movimiento inverso), lo que provoca la pérdida de la coordinación natural entre ojos y manos. Estas circunstancias condicionan al cirujano, que ha de operar adoptando posiciones fijas, rígidas, incómodas y nada ergonómicas, con la consiguiente aparición de fatiga, que a su vez aumenta aún más el temblor y los movimientos no deseados, limitándose la maniobrabilidad y la destreza quirúrgicas, lo que se traduce en una mayor dificultad para la disección anatómica y, sobre todo, para la realización de determinadas maniobras quirúrgicas, que en algunos casos son incluso imposibles. Todo esto restringe el ámbito de utilización de la cirugía laparoscópica, que no es factible en los procedimientos de gran dificultad técnica².

Los robots quirúrgicos se han desarrollado precisamente para superar y eliminar todas estas limitaciones técnicas, y están diseñados para aumentar y extender las capacidades de los cirujanos más allá de los límites que ha impuesto este tipo de cirugía³.

Los actuales sistemas robóticos quirúrgicos tienen su origen en las investigaciones promovidas a finales de los años ochenta tanto por la NASA como por el ejército de EE.UU. para desarrollar la llamada «cirugía de telepresencia»; en el primer caso, para poder intervenir en situaciones de urgencias quirúrgicas a los astronautas tanto de la Estación Espacial Internacional como de los futuros viajes tripulados, dado el desorbitado coste que supondría evacuarlos a la Tierra o incluso la práctica imposibilidad de hacerlo, y en el segundo caso, para poder operar, desde un sitio remoto y seguro, a los soldados heridos en el campo de batalla, ya que el 90% de las muertes en combate se producían por hemorragia secundaria a lesión de grandes vasos de las extremidades, en los soldados que no habían podido ser evacuados a los hospitales de retaguardia, mientras que, entre los que conseguían ser evacuados a tiempo, eran muy pocos los que fallecían, con las mismas heridas⁴. Estas investigaciones dieron lugar al desarrollo de unos sistemas robóticos que tenían gran potencial tecnológico para mejorar precisamente las limitaciones de la cirugía laparoscópica convencional, y que posteriormente elaboraron y comercializaron diversas empresas para su utilización en la comunidad quirúrgica civil. De esta manera se desarrollaron los robots *Da Vinci* (empresa Intuitive Surgical) y *Zeus* (empresa Computer Motion). Posteriormente, ambas empresas se fusionaron y su ulterior producción se centró únicamente en el sistema *Da Vinci*.

Este robot proporciona visión tridimensional, con aumento del tamaño y de la resolución de la imagen, utiliza un instrumental de menor tamaño, articulado y dotado de una gran capacidad de movimientos (161 veces más que el instrumental laparoscópico convencional), y permite que los movimientos sean en escala, además de filtrar el temblor fisiológico. Elimina el efecto *fulcrum* y recupera tanto la coordinación natural ojos-manos como la posición ergonómica del cirujano.

Correspondencia: Prof. C. Martínez Ramos.
Alfar, 22. 28023 Aravaca. Madrid. España.
Correo electrónico: cmartinez.hcsc@salud.madrid.org

Recibido el 18-6-2007; aceptado para su publicación el 22-6-2007.

En el robot *Da Vinci*, que es un robot tipo maestro-esclavo, el cirujano controla desde una consola maestra, situada a distancia de la mesa de operaciones, todas las acciones de los brazos esclavos que contienen la cámara de vídeo y el instrumental quirúrgico. El cirujano observa desde la consola el campo operatorio a través de unos binoculares que proporcionan visión estereoscópica de alta resolución. Coloca los brazos en unos reposabrazos almohadillados, que proporcionan estabilidad y comodidad, lo que aumenta su resistencia física, y coge con los dedos unos manipuladores o mangos instrumentales que son similares a los que posee un instrumento quirúrgico de cirugía convencional, y que traducen los movimientos en 3 dimensiones de sus manos en impulsos eléctricos, que a su vez se transforman en órdenes para los brazos robóticos, que realizarán idénticos movimientos en 3 dimensiones, que, además, podrán ser disminuidos de forma escalada⁵.

Este robot proporciona las ventajas de la cirugía abierta o convencional, es decir, gran capacidad de manipulación quirúrgica de los tejidos y visualización en 3 dimensiones, pero realizando pequeñas incisiones, que es la característica de la cirugía laparoscópica y constituye la gran ventaja de esta cirugía de acceso mínimamente invasivo. Es decir, los sistemas robóticos devuelven al cirujano la perspectiva y la sensación de «estar dentro del campo operatorio», lo que le ofrece la posibilidad de hacer más fáciles las actuales operaciones laparoscópicas y le aporta el potencial para hacer factibles nuevos procedimientos quirúrgicos que eran muy difíciles o imposibles hasta ahora mediante cirugía laparoscópica.

Tanto el robot *Zeus* como el *Da Vinci* se concibieron inicialmente para la cirugía cardíaca, sobre todo para realizar el *bypass* coronario de forma totalmente endoscópica, lo que se consiguió por primera vez en 1999. Con posterioridad se extendió su uso al resto de las especialidades, siendo la cirugía robótica tanto más útil cuanto más exigente sea técnicamente la intervención y más difícil resulte la manipulación quirúrgica a causa de la estrechez del campo operatorio.

Actualmente, a pesar de algunos claros inconvenientes de los robots quirúrgicos, como son su elevado precio, el voluminoso tamaño y la falta de retroalimentación táctil (si bien ésta se ve suplida parcialmente pero satisfactoriamente por el magnífico sistema de imagen), la cirugía robótica está experimentando una rápida implantación y una prometedora difusión, si tenemos en cuenta que su tecnología se encuentra todavía en la fase inicial de desarrollo⁶. Por todo ello, en la actualidad la cirugía laparoscópica empieza a contemplarse como una transición hacia la cirugía robótica. Además, la tecnología de los robots quirúrgicos permite desarrollar una serie de novedosas y útiles aplicaciones.

La posibilidad de conectar un robot quirúrgico a un sistema de telecomunicaciones permite 2 aplicaciones revolucionarias: la telecirugía y la telemonitorización. Una de las primeras intervenciones de telecirugía se efectuó precisamente en España, cuando el Dr. Enrique Ferrer intervino, en 1998, desde un barco anclado en Palma de Mallorca, a un paciente con hidrocefalia obstructiva que se encontraba en un quirófano del Hospital Clínico de Barcelona. En 2001 se practicó la primera operación de telecirugía transoceánica, en la que desde Nueva York un cirujano colecistectomizó a una paciente situada en un quirófano de Estrasburgo. Al margen de estas experiencias puntuales, en 2003 se inició en Canadá un programa piloto de telecirugía para dar cobertura quirúrgica a zonas rurales poco pobladas en las que dicha cobertura era escasa^{7,8}. La telecirugía teóricamente eliminaría los problemas derivados de la falta de disponibilidad de cirujanos no sólo en vuelos espaciales o en campos

de batalla, sino también en países en vías de desarrollo. Sin embargo, en la actualidad tiene unos costes tan elevados que impiden llevarla a cabo en áreas subdesarrolladas, que son precisamente las que más la necesitarían.

En la telemonitorización un cirujano puede aconsejar y guiar a otro que esté operando a kilómetros de distancia. Ambos comparten la misma visión del campo operatorio y el control sobre el sistema robótico, y se comunican a través de micrófonos. Este sistema se utiliza para que cirujanos expertos aconsejen y dirijan a jóvenes cirujanos con menor experiencia durante la realización de procedimientos quirúrgicos, y fue también en Canadá donde se puso en funcionamiento un centro pionero para asesorar a cirujanos distribuidos por todo el país⁸.

Por otro lado, con la creación de simuladores quirúrgicos robóticos cambiará de forma radical la enseñanza práctica de la cirugía, que tradicionalmente se ha realizado en pacientes, modalidad cada vez menos aceptada por la sociedad, sobre todo en los procedimientos de alto riesgo. Además, estos simuladores también pueden constituir un elemento objetivo para comprobar y evaluar la destreza y el grado de aprendizaje quirúrgico de los cirujanos en formación, antes de permitirles realizar operaciones sobre los pacientes^{7,9}.

Por otra parte, si tenemos en cuenta que los robots no son más que sistemas informáticos, existe la posibilidad de que éstos interactúen con otros como los actuales sistemas digitales de imagen médica (tomografía computarizada, resonancia magnética, etc.). Esto permitirá, a partir de estas exploraciones, incorporar la reconstrucción tridimensional de la anatomía humana (normal y patológica) no sólo para mejorar la realidad virtual de los simuladores quirúrgicos, sino también para su utilización intraoperatoria, fusionando dichas imágenes tridimensionales, obtenidas preoperatoriamente mediante estas exploraciones digitales, con las imágenes de vídeo procedentes del campo operatorio de ese mismo paciente (realidad aumentada), lo cual proporcionará al cirujano la posibilidad de disponer de una «visión de rayos X» que podrá guiarle en el campo operatorio y le ayudará a identificar más fácilmente la lesión que debe extirpar, así como las estructuras que ha de respetar¹⁰. Con estas aplicaciones podrán ensayarse procedimientos quirúrgicos complejos antes de llevarlos a la práctica, posibilidad que permitirá incluso que, una vez establecido el procedimiento óptimo, éste pueda programarse para que posteriormente lo realice de forma automatizada el robot bajo la supervisión del cirujano^{7,11}.

El gran futuro de la robótica en la medicina radicará en la reducción de la escala en la que operan estos sistemas robóticos, con la creación de micro y nanorrobots gracias al prometedor desarrollo tanto de los sistemas mecánicos microeléctricos como de la nanotecnología. Los sistemas mecánicos microeléctricos están integrados por microdispositivos eléctricos y mecánicos que poseen engranajes de un tamaño no superior al de un grano de polen. Actualmente ya existe un microrrobot de uso clínico, con un tamaño de $2,5 \times 1$ cm: la cápsula endoscópica, fácilmente deglutible, que puede contener hasta 2 microcámaras, 2 baterías, diodos emisores de luz (LED) y comunicador de radiofrecuencia para transmitir a un receptor que porta el paciente en el cinturón las más de 50.000 imágenes que obtiene a su paso por el tubo digestivo¹². Y ya se está investigando para dotarla de movilidad controlada y de microbrazos para poder realizar toma de biopsias, extirpación de pólipos, etc.^{9,13}. A una escala todavía menor, la nanotecnología, técnica multidisciplinaria que permite manipular las estructuras atómicas y moleculares de la materia, podrá construir, por ejemplo, auténticos laboratorios implantables en miniatura para

determinar en pacientes con diabetes, de manera continua, los valores de glucemia que permitan suministrar la insulina que necesiten. E incluso podrán fabricarse robots a escala mucho menor que podrán viajar a lo largo del flujo sanguíneo y que estarán diseñados para actuar terapéuticamente sólo sobre los componentes de una célula aislada^{5,9}.

Las posibilidades futuras de los sistemas robóticos son tan prometedoras que únicamente estarán limitadas por la propia imaginación humana. Además, serán de tal magnitud que los robots médicos llegarán a realizar tareas tan avanzadas que hoy día aún no alcanzamos a concebir ni tan siquiera en nuestros sueños más imaginativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lanfranco A, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery. A current perspective. *Ann Surg.* 2004;239:14-21.
2. Marecik SJ, Chaudhry V, Jan A, Pearl RK, Park JJ, Prasad LM. A comparison of robotic, laparoscopic and hand-sewn intestinal sutured anastomoses performed by residents. *Am J Surg.* 2007;193:349-55.
3. Martínez-Ramos C. Robótica y cirugía laparoscópica. *Cir Esp.* 2006;80:189-94.
4. Senapati S, Advincula AP. Telemedicine and robotics: paving the way to the globalization of surgery. *Int J Gynecol Obst.* 2005;91:210-6.
5. Camarillo DB, Krummel TM, Salisbury JK. Robotic technology in surgery: past, present and future. *Am J Surg.* 2004;188:2-15.
6. Tholey G, Desai JP, Castellanos AE. Force feedback plays a significant role in minimally invasive surgery. *Ann Surg.* 2005;241:102-9.
7. Morris B. Robotic surgery: applications, limitations and impact on surgical education. *Medscape General Medicine.* 2005;7:72. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1681689>
8. Anwari M. Remote telepresence surgery: the Canadian experience. *Surg Endosc.* 2007;4:537-41.
9. Satava RM. Looking forward. *Surg Endosc.* 2006;20:503-4.
10. Maddern GJ. Robotic surgery: will it be evidence-based or just «toys for boys»? *Med J Australia.* 2007;186:221-2.
11. Marohn MR, Hanly EJ. Twenty-first century surgery using twenty-first century technology: surgical robotics. *Curr Surg.* 2004;5:466-73.
12. González-Suárez B, Galter S, Balanzó J. Cápsula endoscópica: fundamentos y utilidad clínica. *Cir Esp.* 2007;81:199-306.
13. Quirino M, Webster RJ, Mancias A, Dario P. Design of a pill-sized 12-legged endoscopic capsule robot. 2007. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Disponible en: <http://www.haptics.me.jhu.edu/publications/Quirini12-LeggedICRA2007.pdf>