

ARTÍCULO ORIGINAL

Cirugía robótica: Historia e impacto en la enseñanza

R. Valero^{a,b,c}, Y.H. Ko^{a,d}, S. Chauhan^a, O. Schatloff^a, A. Sivaraman^a,
R.F. Coelho^{a,e}, F. Ortega^{f,c}, K.J. Palmer^{a,b}, R. Sanchez-Salas^{f,b}, H. Davila^b,
X. Cathelineau^f y V.R. Patel^{a,*}

^a Global Robotics Institute, Florida Hospital Celebration Health, Celebration, Florida, EE.UU

^b Departamento de Urología, Hospital Universitario de Caracas, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

^c Robotic Fellow, Confederación Americana de Urología (CAU), Miami, Florida

^d Departamento de Urología, Escuela Universitaria Coreana de Medicina, Seúl, Corea

^e Hospital das Clinicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, Divisão de Urologia, São Paulo, Brasil

^f Departamento de Urología, L'Institut Mutualiste Montsouris, París, Francia

Recibido el 29 de marzo de 2011; aceptado el 9 de abril de 2011

Accesible en línea el 21 de junio de 2011

PALABRAS CLAVE

Robótica;
Cirugía;
Historia;
Sistemas quirúrgicos;
AESOP;
ZEUS;
Enseñanza;
Futuro

KEYWORDS

Robotics;
Surgery;
History;
Surgical systems;
AESOP;
ZEUS;
Teaching;
Future

Resumen

Contexto: El objetivo de este artículo es hacer una revisión de la Historia de la cirugía robótica, su impacto en la enseñanza, así como una descripción de los robots antiguos y actuales usados en el campo médico.

Resumen de evidencia: Aunque la historia de la robótica tiene 2.000 años o más, las últimas dos décadas han mostrado una marcada revolución en Medicina, debido a todos los cambios que la cirugía robótica ha provocado en la manera de hacer, enseñar y practicar cirugía.

Conclusiones: La cirugía robótica ha evolucionado hasta ser un campo aparte, con un enorme potencial para su futuro desarrollo. Los resultados muestran hasta ahora que esta tecnología es capaz de ofrecer buenos resultados y un adecuado tratamiento a los pacientes.

© 2011 AEU. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Robotic Surgery: History and Teaching Impact

Abstract

Context: The purpose of this article is to review the history of robotic surgery, its impact on teaching as well as a description of historical and current robots used in the medical arena.

Summary of evidence: Although the history of robots dates back to 2000 years or more, the last two decades have seen an outstanding revolution in medicine, due to all the changes that robotic surgery has made in the way of performing, teaching and practicing surgery.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: vipul.patel.md@flhosp.org (V.R. Patel).

Conclusions: Robotic surgery has evolved into a complete and self-contained field, with enormous potential for future development. The results to date have shown that this technology is capable of providing good outcomes and quality care for patients.
© 2011 AEU. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La cirugía robótica está considerada por muchos autores como el futuro de la cirugía debido a los importantes avances que ha experimentado y al gran impacto causado durante las últimas dos décadas. Su desarrollo ha sido rápido, y ha demostrado poseer numerosas ventajas que ayudan a la mejora de las técnicas quirúrgicas. Asimismo, gracias a la cirugía robótica se han producido cambios en la práctica y la enseñanza de la cirugía.

El sistema quirúrgico Da Vinci® (desarrollado por Intuitive Surgical Sunnyvale, CA, EE.UU.) es el único sistema de este tipo aprobado por la FDA. Ofrece diversas ventajas respecto a la cirugía laparoscópica convencional, tales como visión tridimensional, mayor destreza y movilidad, empleo de instrumentos articulados, mayor extensión de movimientos, disminución del efecto fulcro, reducción del temblor y posición ergonómica para el cirujano. Estas mejoras permiten manipular los tejidos y operar de forma más precisa, así como mejorar los resultados obtenidos en los pacientes. El objetivo del presente artículo es estudiar la Historia de la cirugía robótica, su evolución y las mejoras alcanzadas en lo que respecta a la enseñanza y la práctica de la cirugía.

Historia de la robótica

En 1921 Karel Capek introdujo la noción y el término «robot» en su obra *Robots Universales Rossum*^{1,2}. Dicho término proviene de la palabra checa «robota», que significa «trabajo». Años más tarde, en 1942, Isaac Asimov se inspiró en el trabajo de Capek para definir el término «robótica», estableciendo las tres leyes de la robótica en sus obras *Círculo vicioso* y *Yo, robot*³⁻⁵. A pesar de que el término «robótica» es relativamente nuevo, las máquinas autónomas datan del año 400 a.C., cuando Arquitas de Tarento construye el primer artefacto de vuelo autopropulsado: un pájaro de madera que funcionaba con vapor y que era capaz de recorrer 200 metros⁶.

Sin embargo, el primer robot capaz de imitar los movimientos humanos de la mandíbula, los brazos y el cuello fue diseñado por Leonardo da Vinci en 1495, al cual llamaría «Caballero Mecánico» (fig. 1). Este invento sirvió como inspiración a Gianello Turriano, quien construyó en 1540 una muñeca que tocaba la mandolina⁷.

En 1772 «El Escritor» de Jaquet Droz fue el primer autómeta que contaba con una rueda programable integrada que permitía al usuario escribir lo que quisiera utilizando una pluma. Al fijar esta rueda a una pluma «El Escritor» podía escribir frases completas, respetando los espacios entre líneas y entre palabras, e incluso los signos de puntuación, tarea que hasta entonces sólo había sido llevada a cabo por humanos³ (fig. 2).

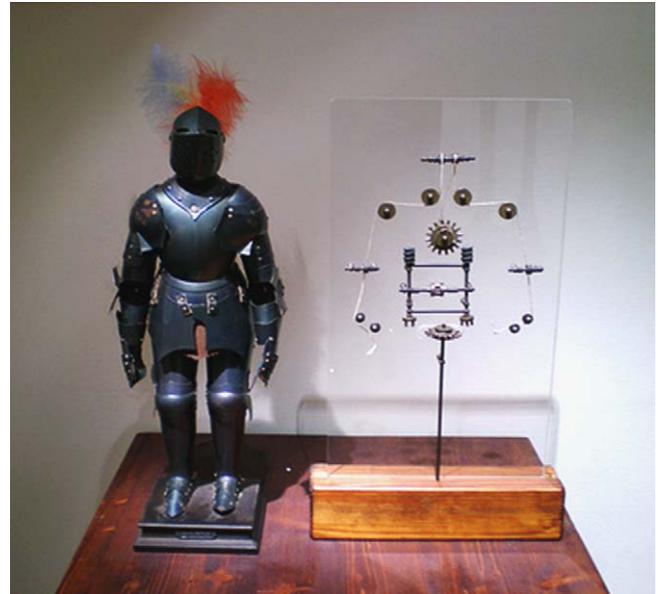


Figura 1 El Caballero mecánico de Leonardo da Vinci.

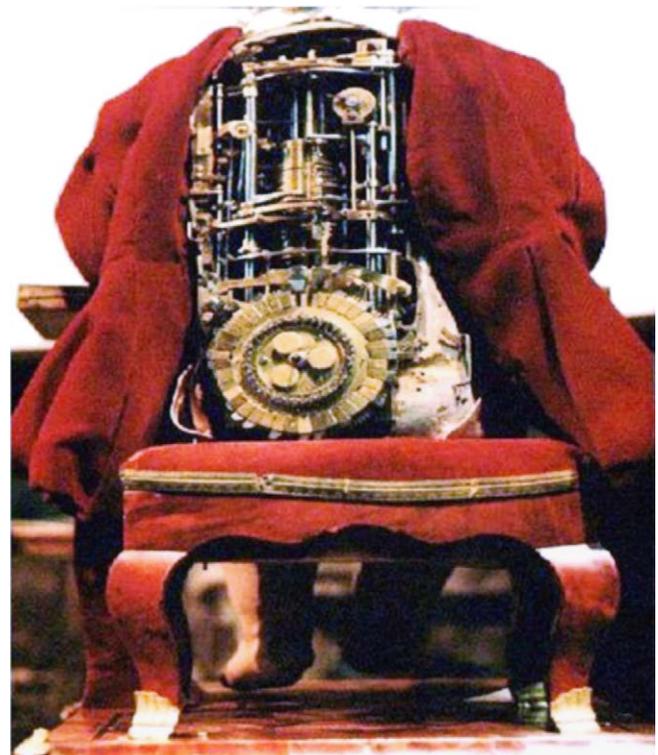


Figura 2 El escritor, primer androide de Jaquet-Droz.

El impacto de la robótica en la Medicina ha propiciado el desarrollo de nuevos aspectos de esta ciencia, tales como la telecirugía (cirugía que permite al cirujano operar a distancia). En 2001 el doctor Marecaux llevó a cabo la primera operación telerrobótica (el cirujano se encuentra sentado frente a una consola de ordenador en una ubicación distinta de la del paciente) mediante el sistema quirúrgico ZEUS®. Se trataba de una colecistectomía realizada por cirujanos ubicados en Nueva York (EE.UU.) a un paciente de 62 años con coledolitiasis ingresado en Estrasburgo (Francia)⁸.

Los robots en la actualidad

La Historia moderna de la cirugía robótica comienza con el Puma 560®, un robot utilizado por Kwoh et al para realizar biopsias neuroquirúrgicas con mayor precisión⁸⁻¹⁰. En 1988 Davies et al emplearon dicho sistema para llevar a cabo una prostatectomía transuretral^{10,11}.

Integrated Surgical Supplies Ltd. (Sacramento, EE.UU.) construyó dos modelos con características similares: PROBOT®, un robot diseñado específicamente para la prostatectomía transuretral, y ROBODOC®, un sistema robótico para realizar el vaciado del fémur con mayor precisión en operaciones de sustitución de cadera¹. Este último se convirtió en el primer robot aprobado por la FDA^{1,3}.

En la actualidad se continúa investigando y desarrollando nuevos robots y posibles mejoras en los existentes. Cuando nos referimos a la robótica debemos señalar que nos hemos centrado en los principales sistemas de cirugía robótica que han contribuido al desarrollo de los que se emplean en la actualidad.

AESOP®

El sistema endoscópico automático para posicionamiento óptimo (AESOP®) fue el primer robot aprobado por la FDA para intervenciones quirúrgicas abdominales^{3,12,13}, diseñado por Computer Motion, Santa Bárbara, CA (EE.UU.) y aprobado en 1994. Se trata de un brazo robótico que sujeta una cámara laparoscópica y que puede ser controlado por voz. Las últimas generaciones han añadido 7 rangos de movimiento que simulan la mano humana^{14,15}.

ZEUS®

El sistema Zeus® (Computer Motion, Santa Bárbara, CA, EE.UU.) es otro tipo de robot moderno lanzado al mercado en 1998, y con el cual se introdujo el concepto de telerrobótica o telepresencia en la cirugía robótica³. Está compuesto de una consola de control para el cirujano con un sistema de vídeo tridimensional que proyecta imágenes desde una determinada distancia, y una mesa operatoria con tres brazos robóticos con cuatro rangos de movimiento. Los brazos derecho e izquierdo simulan los brazos del cirujano, mientras que el tercer brazo es un endoscopio robótico AESOP® controlado por voz¹⁶.

El principal inconveniente del sistema ZEUS® es el gran tamaño de los brazos robóticos, que limita el espacio en las salas quirúrgicas y causa colisiones entre los trócares.

Además, resulta incómoda la necesidad de llevar gafas especiales.

Sistema quirúrgico da Vinci®

Es el sistema de cirugía robótica más completo y desarrollado. Consta de tres componentes: el carro de visualización, que aloja un equipo de iluminación dual y cámaras dobles de tres chips; la consola del cirujano y el carro móvil, que sostiene los tres brazos para instrumentos y el brazo para la cámara. La consola se compone de dos mandos que controlan los brazos robóticos con 7 rangos de movimiento, un ordenador y un sistema de imágenes en 3D. Un sensor de infrarrojos detecta el momento en que el cirujano introduce la cabeza en la consola, activando inmediatamente los dos mandos y los brazos robóticos.

El sistema de cirugía robótica da Vinci® también presenta inconvenientes; el principal de ellos continúa siendo el del tamaño, que limita el espacio en la sala quirúrgica. También requiere un gran número de delicadas conexiones que se encuentran dentro de la sala de operaciones y que pueden causar accidentes o sufrir daños. Además, intervenciones tales como la resección del intestino, en las que se hace necesario acceder a uno o más cuadrantes abdominales, obliga al montaje y desmontaje de los brazos robóticos, lo cual conlleva un aumento en el tiempo de duración de la operación y de la anestesia¹⁷.

Impacto en la enseñanza

La cirugía robótica no sólo ha cambiado la forma de practicar la cirugía, sino que ha renovado la forma de enseñar y de aprender a operar. Ha entrado a formar parte de los programas de cirugía en todo el mundo, se ha utilizado para la enseñanza de la cirugía y para la práctica con modelos virtuales tridimensionales en lugar de pacientes.

Cirugía robótica y formación

A pesar de los numerosos avances tecnológicos, la formación en cirugía se ha mantenido sin cambios durante más de un siglo. Los aspirantes a cirujanos siempre han tenido que adquirir experiencia con el sistema de «ensayo y error supervisado» en pacientes reales. Este planteamiento hace que la formación en cirugía dependa totalmente del número de casos operables disponibles en el momento, prolonga el tiempo de formación y compromete la seguridad del paciente^{18,19}. La cirugía robótica se convertirá en un nuevo medio para adquirir las aptitudes necesarias para operar, gracias a la simulación de todas las intervenciones que pueden realizarse con el robot. Los cirujanos pueden usar robots quirúrgicos para practicar operaciones con simuladores tridimensionales de realidad virtual, y modelos de las partes blandas que recrean la textura de los tejidos humanos a través de sistemas de respuesta de fuerza o *Force Feedback* (la tecnología del tacto o *háptica* hace referencia al tacto o sensación táctil)^{18,20,21}. Las simulaciones guiadas por imágenes permitirán a los cirujanos practicar diferentes intervenciones, gracias a las reconstrucciones tridimensionales de la

parte de la anatomía que será objeto de cirugía al día siguiente²²⁻²⁴.

La cirugía por telepresencia (donde el cirujano opera de manera virtual mediante telecomunicación, desde una ubicación física alejada del paciente) ha sido utilizada satisfactoriamente para la enseñanza de la cirugía a estudiantes de tercer curso de Medicina que fueron guiados en clase por mentores a distancia^{18,25}.

Se espera que estos sistemas perfeccionen el proceso de aprendizaje, permitiendo a los estudiantes adquirir aptitudes quirúrgicas en un periodo de tiempo reducido, a la vez que se mejora la seguridad del paciente al evitar errores en las intervenciones¹⁹. En última instancia estas aplicaciones pasarán a formar parte integral de la formación y la acreditación de cirujanos, y proporcionarán los medios objetivos para evaluar las aptitudes quirúrgicas²⁶.

Se espera que la tecnología robótica desempeñe un papel cada vez más importante en el futuro de la cirugía. Sin embargo, la mayor parte de los programas de residencia en Estados Unidos aún no se han centrado en la formación en cirugía robótica como deberían^{18,19}. Un estudio realizado en 2002 indicaba que sólo el 23% de los directores de programas de cirugía tenía previsto incorporar la robótica a sus programas²⁷. En 2003 otro estudio realizado por el mismo grupo reveló que aunque el 57% de los residentes de cirugía mostraba interés por la cirugía robótica, la mayoría (80%) no contaba con un programa de formación en cirugía robótica en las instituciones en que estudiaba²⁸. Son pocos los centros académicos que han desarrollado una didáctica formal que enseñe a los alumnos a practicar este tipo de cirugía²⁹.

Son los hospitales los que acaban por ser responsables de garantizar las competencias necesarias para llevar a cabo intervenciones robóticas. Se espera que, a medida que avance la formación académica en cirugía robótica, se requiera una certificación normalizada para la obtención de estas prerrogativas quirúrgicas^{18,30}.

Impacto en Urología y otras especialidades

Aunque la cirugía robótica se ideó inicialmente para operaciones cardiovasculares, el campo donde ha causado un mayor impacto ha sido en Urología, donde ha demostrado una enorme expansión, con resultados excelentes en distintos tipos de intervenciones como la prostatectomía radical, la nefrectomía parcial, la nefrectomía de donante vivo y la pieloplastia, entre otras muchas.

En menos de una década la prostatectomía radical laparoscópica asistida por robot se ha convertido en la técnica quirúrgica más utilizada para el tratamiento del cáncer de próstata. En 2009 el número de prostatectomías robóticas realizadas ya superaba las 60.000, debido al entusiasmo por parte de los médicos, el interés de los pacientes y unas eficaces campañas de promoción comercial³¹.

Hoy en día más del 85% de las prostatectomías radicales llevadas a cabo en EE.UU. se realizan mediante asistencia robótica³², aunque aún quedan escépticos que hacen hincapié en que debe demostrarse con resultados científicamente probados que esta técnica es segura y eficaz, más allá de las especulaciones, las promesas o la mercadotecnia.

No obstante, el creciente número de pruebas demuestra que la robótica está a la altura de los niveles de calidad



Figura 3 El dV-Trainer™ de Mimic.

exigidos en el pasado y en el presente para la realización de prostatectomías radicales y que, además, aporta ciertos beneficios como la reducción de la pérdida de sangre y la morbilidad. La cirugía robótica podría representar en un futuro no muy lejano un nuevo estándar de atención quirúrgica para el tratamiento del cáncer de próstata localizado³².

La Urología no es sólo una de las especialidades sobre la cual la robótica ha tenido un fuerte impacto, sino que esta ha provocado cambios notables en otros campos como la Cirugía general, la Cirugía cardíaca, la Cirugía torácica, la Neurocirugía, la Ginecología, la Cirugía otorrinolaringológica, la Cirugía ortopédica y la Oftalmología.

Formación virtual y cirugía robótica

Otro aspecto importante de la robótica es que puede ser utilizada para la formación virtual. Existen algunos simuladores y software que permiten a los cirujanos practicar algunas intervenciones tantas veces como sea necesario antes de llevarlas a cabo en un paciente real.

Mimic Technologies, Inc. es una de las compañías especializadas en robots para la enseñanza virtual, habiendo creado sistemas como: Mimic's dV-Trainer™, un «simulador de vuelo» para cirugía robótica diseñado para impartir clases de formación por encargo a cirujanos que estén aprendiendo a operar con el sistema quirúrgico da Vinci³¹ (fig. 3). Mimic's Mantis Duo™ es un sistema de entrenamiento con dos manos que ofrece una amplia gama de aplicaciones de simulación relacionadas con la tecnología del tacto, incluyendo cirugía abierta y robótica con un sistema de respuesta de fuerza de alta calidad y poca sobrecarga en el PC servidor³³.

RoSS™ es otro modelo de simulador de cirugía robótica de Simulated Surgical Systems LLC, que se vale de la realidad virtual para introducir al usuario en la operación a través de una consola de cirugía robótica, que ofrece una experiencia similar a trabajar con la consola de mandos del sistema quirúrgico da Vinci³⁴.

Existen publicaciones sobre los programas de simulación laparoscópica que adaptan a los formandos en realidad virtual para mejorar su capacidad de desarrollar aptitudes quirúrgicas. Feifer et al (2010) han presentado un ensayo aleatorizado con grupo control empleando LapSim® [LSM], así como el sistema inanimado McGill para formación y evaluación de las habilidades laparoscópicas (MISTELS®)

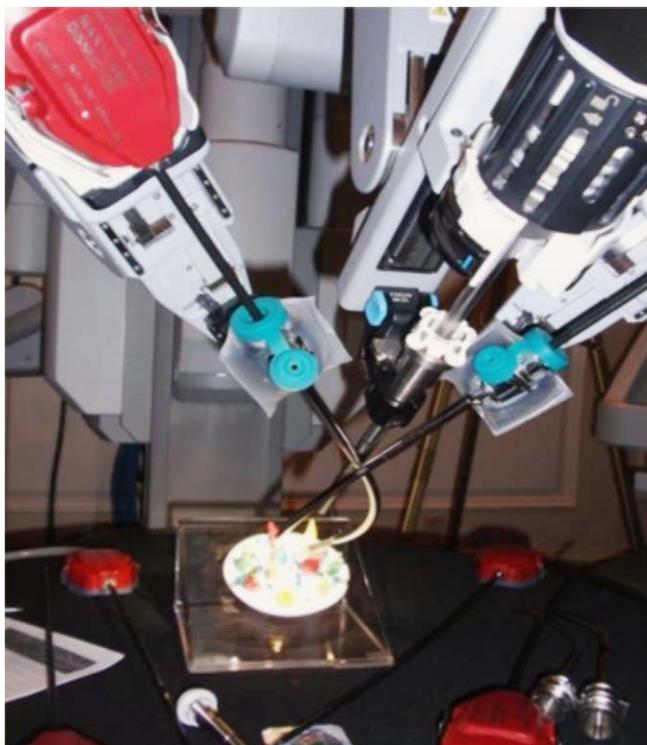


Figura 4 Cirugía laparoscópica por puerto único mediante la plataforma da Vinci®.

utilizando la aplicación híbrida de realidad aumentada ProMIS® [PM]³⁵. Además, las aplicaciones del sistema MISTELS pueden adaptarse a la plataforma da Vinci®.

Robótica para laparoendoscopia por puerto único

La laparoendoscopia por puerto único (LESS) es una nueva técnica de cirugía que permite llevar a cabo cirugía mayor sin cicatrices (con incisiones mínimas) y que puede considerarse como el último avance en cirugía laparoscópica, con resultados óptimos en los más de 400 casos registrados^{36,37}. En esta intervención transabdominal se realiza una única incisión en el ombligo, que permite acceder al abdomen y prácticamente deja oculta la misma^{36,37}.

Las dos grandes dificultades que presenta este sistema son el choque de instrumentos y la pérdida de triangulación, con una limitación de la maniobrabilidad de los instrumentos. La principal ventaja del Sistema Quirúrgico da Vinci® para LESS es la fácil articulación, gracias a los instrumentos EndoWrist, además de la visualización tridimensional, el movimiento a escala y la reducción del temblor^{36,37} (fig. 4).

El sistema LESS está evolucionando, y la asistencia robótica y otros avances tecnológicos también podrían ayudar a lograr estas mejoras. En lo que respecta a la Urología el sistema LESS ha sido utilizado para la realización de nefrectomía, adrenalectomía, crioablación renal, pieloplastia, interposición ileal, ureteroneocistostomía, varicoceleotomía, prostatectomía radical, prostatectomía simple, y cistoprostatectomía radical³⁶.

¿Qué viene después? Perspectiva de futuro

Aunque el futuro es incierto en muchos aspectos de la vida, en lo que respecta a la cirugía robótica parece no ser así. Cada día nacen nuevas características y modelos que continúan mejorando los sistemas robóticos actuales.

Los futuros robots

La cirugía robótica se ha venido desarrollando durante los últimos 10 años hacia un método de tratamiento de probada eficacia y expansión. Titan Medical Inc. es una compañía canadiense (TSX VENTURE:TMD) especializada en tecnologías de cirugía robótica que actualmente está trabajando en Amadeus™, un robot quirúrgico de 4 brazos con algunas características especiales, como brazos multi-articulados, comunicaciones, sistemas de visión mejorados y de respuesta de fuerza^{37,38}.

El sistema de respuesta de fuerza es una excepcional característica de este equipo de cirugía robótica. Permite eliminar y corregir uno de los principales problemas que aún presentan los sistemas robóticos actuales: una ausencia de tacto que impide al cirujano sentir o saber la cantidad de fuerza que necesita para tirar de los tejidos sin romperlos o dañarlos. La investigadora de la Technische Universiteit de Eindhoven, Linda van den Bedem, publicó un informe en *Science Daily* sobre el desarrollo de un robot quirúrgico más compacto llamado Sophie, que emplea la respuesta de fuerza para transmitir sensaciones al cirujano sobre lo que está realmente haciendo³⁹. Otro aspecto que ha sido investigado es la posibilidad de controlar los sistemas de cirugía robótica mediante inteligencia artificial. En 2010 varios bioingenieros de la Duke University demostraron que un robot es capaz de localizar una lesión en órganos humanos simulados sin ayuda humana, así como guiar un dispositivo hasta la lesión y tomar muestras múltiples de ese punto durante una sola sesión (Duke Robot Biopsy Guided by 3-D Ultrasound). Los investigadores creen que cuando esta tecnología avance notablemente los robots podrán llevar a cabo de manera autónoma algunas de las tareas quirúrgicas más sencillas⁴⁰.

No obstante, esta carrera aún no ha terminado, puesto que todavía quedan muchos retos por afrontar, siendo el siguiente paso el empleo de los nanorrobots. Se trata de robots del tamaño de una célula que pueden introducirse en el flujo sanguíneo para eliminar células cancerígenas, reparar tejidos o captar radicales tóxicos, todo ello guiado por control remoto.

Conclusiones

La Historia de la robótica ha seguido una rápida evolución durante la última década. A partir de esta tecnología han surgido nuevos conceptos como la telecirugía, la simbiosis de imágenes o la formación virtual.

La cirugía robótica ha desarrollado y mejorado diversas técnicas quirúrgicas en especialidades como la Urología, la Cirugía general y la Ginecología, entre otras. Además, la robótica ha proporcionado resultados que han cambiado la forma de practicar y enseñar cirugía, estableciendo

nuevos modelos de tratamiento y demostrando que es capaz de mantenerse y evolucionar. También ha facilitado y aumentado el uso de una cirugía no invasiva, gracias a tecnologías como LESS.

En lo que respecta a la cirugía robótica aún queda mucho por investigar y desarrollar, pero los resultados obtenidos son positivos, y parece que es sólo cuestión de tiempo hasta que la cirugía robótica se convierta en el procedimiento de referencia para un número importante de intervenciones quirúrgicas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Satava RM. Surgical robotics: the early chronicles: a personal historical perspective. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*. 2002;12:6–16.
- Felger JE, Nifong L. The evolution of and early experience with robot assisted mitral valve surgery. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*. 2002;12:58–63.
- Kalan S, Chauhan S, Coelho R, Orvieto M, Camacho I, Palmer K, et al. History of robotics surgery. *J Robotic Surg*. 2010;4:141–7.
- Asimov I. *I, robot*. Greenwich, CT: Fawcett; 1950.
- Asimov I. *Runaround*. *Astounding science fiction*. New York: Street & Smith Publications Inc; 1942.
- Patel V. *Robotic urologic surgery*. 1st ed. London: Springer; 2007. p. 2.
- García-Diego JA. *Los relojes y autómatas de Juanelo Turriano*. *Monografías Españolas de Relojería*. Madrid: Tempos Fugit; 1982. p. 55–60.
- Marescaux J, Leroy J, Rubino F, Smith M, Vix M, Simone M, et al. Transcontinental Robot-Assisted Remote Telesurgery: feasibility and Potential Applications. *Ann Surg*. 2002;235:487–92.
- Kwoh Y, Hou J, Jonckheere E, Hayati S. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1988;35:153–61.
- Davies B. A review of robotics in surgery. *Proc Inst Mech Eng*. 2000;214:129–40.
- Schurr MO, Buess G, Neisius B, Voges U. Robotics and telemanipulation technologies for endoscopic surgery: a review of the ARTEMIS project. *Advanced robotic telemanipulator for minimally invasive surgery*. *Surg Endosc*. 2000;14:375–81.
- Unger S, Unger H, Bass R. AESOP robotic arm. *Surg Endosc*. 1994;8:1131.
- Cordova A, Ballantyne G. Robotics surgical systems to abdominal surgery. *Rev Gastroenterologia Peru*. 2003;23:50–66.
- Sackier JM, Wang Y. Robotically assisted laparoscopic surgery: from concept to development. *Surg Endosc*. 1994;8:63–6.
- Allaf M, Jackman S, Schulam P, Cadeddu J, Lee B, Moore R, et al. Laparoscopic visual field: voice vs foot pedal interfaces for control of the AESOP robot. *Surg Endosc*. 1999;12:1415–8.
- Lanfranco A, Castellanos A, Desai J, Meyers W. Robotic Surgery: A Current Perspective: Background and History of Surgical Robots. *Ann Surg*. 2004;239:14–21.
- Gyung TS, Gill IS. Robotic Laparoscopic Surgery a comparison of the da Vinci and Zeus Systems. *Urology*. 2001;58:893–8.
- Morris B. *Robotic Surgery: Applications, Limitations, and impact on Surgical Education*. Medscape General Medicine. 2005;7:72.
- Gómez G. *Emerging Technology in surgery: informatics, electronics, robotics*. *Sabiston Textbook of Surgery*. 17th ed. Philadelphia, Pa: Elsevier Saunders; 2004.
- Suzuki S, Suzuki N, Hayashibe M, Hattori A, Konishi K, Kakeji Y, et al. Tele-surgical simulation system for training in the use of da Vinci surgery. *Stud Health Technol Inform*. 2005;111:543–8.
- Satava RM. Virtual reality, telesurgery, and the new world order of medicine. *J Image Guid Surg*. 1995;1:12–6.
- Weiss H, Ortmaier T, Maass H, Hirzinger G, Kuehnappel U. A virtual-reality-based haptic surgical training system. *Comput Aided Surg*. 2003;8:269–72.
- Marescaux J, Solerc L. Image-guided robotic surgery. *Semin Laparosc Surg*. 2004;11:113–22.
- Hattori A, Suzuki N, Hayashibe M, Suzuki S, Otake Y, Tajiri H, et al. Development of a navigation function for an endoscopic robot surgery system. *Stud Health Technol Inform*. 2005;111:167–71.
- Kaufmann C, Rhee P, Burris D. Telepresence surgery system enhances medical student surgery training. *Stud Health Technol Inform*. 1999;62:174–8.
- Ro CY, Toumpoulis IK, Ashton Jr RC, Imielinska C, Jebara T, Shin S, et al. A novel drill set for the enhancement and assessment of robotic surgical performance. *Stud Health Technol Inform*. 2005;111:418–21.
- Donias HW, Karamanoukian RL, Glick PL, Bergsland J, Karamanoukian HL. Survey of resident training in robotic surgery. *Am Surg*. 2002;68:177–81.
- Patel Y, Donias H, Boyd D, Pande R, Amodeo J, Karamanoukian R, et al. Are you ready to become a robo-surgeon? *Am Surg*. 2003;69:599–603.
- Chitwood W, Nifong L, Chapman W, Felger J, Bailey B, Ballint T, et al. Robotic surgical training in an academic institution. *Ann Surg*. 2001;234:475–84.
- Ballantyne GH, Kelley Jr WE. Granting clinical privileges for telerobotic surgery. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*. 2002;12:17–25.
- Pruthi R, Wallen E. Current Status of Robotic Prostatectomy: Promises Fulfilled. *J Urol*. 2009;181:2420–3.
- Kolata G. Results Unproven, Robotic Surgery Wins Converts. *The New York Times*. 14 de Feb de 2010. Disponible en: <http://www.nytimes.com/2010/02/14/health/14robot.html?>
- Mimic Technology. website. Disponible en: <http://www.mimic.ws/>.
- Simulated surgical systems. Website. Disponible en: <http://www.simulatedsurgicals.com/hardware.html>.
- Feifer A, Al-Ammari A, Kovac E, Delisle J, Carrier S, Anidjar M. Randomized controlled trial of virtual reality and hybrid simulation for robotic surgical training. *J Urol*. 2010;183:423.
- Stein R, White W, Goel R, Irwin B, Haber G, Kaouk J, et al. Robotic Laparoendoscopic Single-Site Surgery Using GelPort as the Access Platform. *Eur Urol*. 2010;57:132–6.
- White M, Haber G, Autorino R, Khanna R, Forest S, Yang B, et al. Robotic Laparoendoscopic Single-Site Radical Prostatectomy: Technique and Early Outcomes. *Eur Urol*. 2010;58:544–50.
- Titan medical INC. website. Disponible en: <http://www.titanmedicalinc.com>.
- Van den Bedem L. Science Daily. Disponible en: <http://www.sciencedaily.com/releases/2010/09/100928083848.htm>.
- Duke University office of news and communications. Disponible en: <http://www.dukenews.duke.edu/2010/07/roboto.html>.