

CIRUGIA ROBÓTICA. UNA VISIÓN HISTÓRICA

ROBOTICS SURGERY. A HISTORICAL REVIEW

JORGE RAMÓN LUCENA OLAVARRIETA¹, PAÚL CORONEL², YSABELEN ORELLANA³, CÉSAR USECHE IZARRA⁴

¹Cátedra de Técnica Quirúrgica, Escuela Luis Razetti, Instituto Anatómico José Izquierdo, Facultad de Medicina, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. ²Instituto de Cirugía Experimental, Escuela Luis Razetti, Facultad de Medicina, Universidad Central de Venezuela, Caracas. ³Escuela Luis Razetti, Facultad de Medicina, Universidad Central de Venezuela, Caracas. ⁴Ciencias de la Salud, Universidad de Carabobo, Núcleo Maracay. jorge_lucena@yahoo.com

RESUMEN

Las técnicas quirúrgicas mínimamente invasivas han revolucionado completamente el mundo de la cirugía moderna. Los avances se han dirigido a disminuir el trauma quirúrgico, al punto de lograr un cambio en los paradigmas. El uso de las computadoras y los sistemas robóticos promete facilitar la ejecución de técnicas complejas por medio del control de la voz en el quirófano inteligente. Esta tecnología presenta importantes limitaciones; las más importantes son la pérdida de la sensación de profundidad, de la sensación táctil, la fuerza, y de la coordinación natural cerebro ojos-manos con pérdida de la destreza manual. La principal motivación para el desarrollo de los robots quirúrgicos es la posibilidad de eliminar estos inconvenientes. La cirugía robótica ha adquirido un gran potencial para mejorar la capacidad quirúrgica de los cirujanos en la ejecución de las intervenciones. Motivado al incremento en su utilización, en un futuro próximo estaremos ante un cambio en la fisonomía y estructura de los quirófanos actuales. En este escrito, se analiza el origen de los sistemas robóticos, su evolución y desarrollo, las características de los robots de última generación. Se realizó revisión sistemática de la literatura en las bases de datos electrónicas Medline, ISI y MESH con el término de búsqueda “técnicas quirúrgicas robóticas mínimamente invasivas”. Las evidencias demostraron el impulso que ha tenido la cirugía robótica y sus claras perspectiva futuras. Los cirujanos debemos aprender estas técnicas innovadoras.

PALABRAS CLAVE: Cirugía mínimamente invasiva, cirugía robótica

ABSTRACT

Minimal invasive surgical techniques, such as laparoscopy, have completely revolutionized modern surgery. The improvements have been aimed at reducing surgical trauma and thus changing paradigms. The use of computers and robotics are likely to make easier performing complex techniques by means of voice control in the smart operating room. However, these techniques have significant limitations, being the most important the loss of depth perception, tactile sensation and resistance, as well as the loss of natural hand-eye coordination and manual dexterity. The main motivation behind the development of surgical robots is the possibility of eliminating all these limitations. Robotics surgery has developed a great potential to improve the surgical capabilities of surgeons. Given the continual increase in the use of surgical robots, in a near future the structure and appearance of current operating rooms will change. The present article analyzes the origin, evolution and development of robotics systems, as well as the characteristics of the latest robot generation. A systematic review of literature in the electronic databases Medline, ISI and MESH was performed using the search term “minimal invasive robotics surgical techniques”. Only articles published in English and Spanish were considered. The full text of all studies with possible relevance were obtained, and the reference lists of these studies were checked for additional reports. We performed a systematic review of the existing evidence and an analysis of the data. Robotics surgery is associated with fewer complications and higher safety and efficacy. Because of the strong interest in robotics surgery and its future prospects, surgeons should be familiar with these emerging and innovative techniques.

KEY WORDS: Laparoscopic surgery, robotics surgery, Complications.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas quirúrgicas han experimentado un desarrollo substancial durante los últimos 150 años desde la introducción de los conceptos de asepsia y antisepsia, la mejoras en los agentes anestésicos, la antibioticoterapia, la nutrición parenteral, el desarrollo de las unidades de cuidados intensivos, el trasplante de órganos, en los cuales las herramientas básicas y las técnicas permanecieron iguales (Clearcy 2001). La tarea primordial de la “cirugía” que es la “diéresis y la síntesis” con instrumental manual, la visualización directa y el contacto con los tejidos y órganos (**interfase sensorial**) también se ha mantenido igual (Davies 1995; Kehlet, Wilmore 2002). Sin embargo, durante el último cuarto de siglo, y más concretamente durante la última década del siglo XX ha tenido lugar un cambio paradigmático en las técnicas quirúrgicas. En muchas intervenciones se han utilizados los métodos no invasivos, obteniéndose mejores resultados que se manifiestan por menor frecuencia e intensidad del dolor, corta estancia hospitalaria, periodo de incapacidad más corto, menor tasa de complicaciones, resultados cosméticos, satisfacción y calidad de vida, y un retorno más rápido a las actividades y la vida productiva.

El enfoque hacia la realización de unas técnicas mínimas y mayor precisión ha tenido un incremento notable y han sido objetos de intensas investigaciones desde que se describieron las primeras intervenciones en cirugía general, primero en Alemania, luego en Francia y posteriormente en los Estados Unidos de Norte América y el resto del mundo (Sackier y Wang 1994; Galvani, Horgan 2005).

Independiente de las ya conocidas ventajas de la cirugía mínimamente invasiva, también se presentan limitaciones, entre estas las que más destacan son la pérdida de la sensación de profundidad, de la sensación táctil y de la fuerza, y de la coordinación cerebro-ojo-manos, con la consiguiente disminución de la destreza manual.

La pérdida de la sensación de profundidad se debe a la visión en dos planos que proporciona la observación del campo operatorio por un monitor. La disminución de la sensación del tacto hace que la manipulación tisular dependa siempre de la visualización, con la consiguiente situación de fatiga que se deriva de ello. Con una imagen ampliada como en la cirugía laparoscópica, el temblor, que en mayor o menor grado existe de manera

fisiológica en las manos del cirujano, también aumenta y se magnifica, lo que incrementa la incidencia de movimientos que no tienen un fin determinado. Para superar esta situación, el cirujano debe retardar el procedimiento aumentando el tiempo operatorio. Esto, junto con la postura fija y rígida del cirujano, conduce a la aparición de fatiga que a su vez incrementa el temblor y los movimientos no deseados.

En la cirugía laparoscópica el movimiento de los instrumentos observados en el monitor en dos dimensiones (**2D**) produce una situación contraria a la que induce la intuición natural, lo cual determina que se debe mover el instrumento laparoscópico en dirección opuesta a la que queremos dirigirlo. A esta situación se le conoce como efecto **FULCRUM** o de “movimiento inverso” Esto compromete y altera la correcta coordinación cerebro ojo-mano-campo operatorio; ocasionando pérdida de las destrezas. Por otra parte, los movimientos del instrumental laparoscópico actual tienen restricciones en sus grados de libertad. La mayoría tiene 4 grados mientras que las articulaciones de la muñeca y de las manos humanas tienen 7 grado.

El desarrollo de los robots quirúrgicos se ha producido precisamente para superar y eliminar todas las limitaciones técnicas de la actual cirugía laparoscópica. Los robots quirúrgicos han sido diseñados para aumentar y extender las capacidades de los cirujanos más allá de los límites que impone la cirugía laparoscópica (Marescaux y Rubino 2003).

La finalidad de este estudio es realizar revisión sistemática y rigurosa de la literatura publicada en los últimos cinco años: inicio, evolución, estado actual y futuro de la cirugía robótica. Se consultaron las referencias tanto en idioma inglés como español, entre enero de 2002 y marzo de 2007, que directa o indirectamente aportarían información relacionada con el tema investigado.

MÉTODOS

Se realizó investigación documental y bibliográfica mediante la revisión sistemática de la literatura publicada en los últimos cinco años, analizando las referencias disponibles en idioma inglés y español. Se localizaron en las bases de datos MEDLINE ISI MESH, como motor de búsqueda utilizando la palabra clave “cirugía robótica mínimamente invasiva”. Se detectaron 469 artículos que directa o indirectamente, aportaron información.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inicio y desarrollo de la cirugía mínimamente invasiva

Posteriormente a la introducción de la colecistectomía laparoscópica (**CL**) por el ginecólogo alemán (Muhe en 1985) Reynolds (2001) y los aportes de los franceses P. Mouret en Lyon, Dubois en Paris, Perissat en Burdeos y después Reedick en USA, tiene lugar una serie de acontecimientos que iniciaron la repercusión en la cirugía del siglo XXI (David y Fillipi 1995).

Los nuevos conceptos de la “cirugía por un visor” (endoscopio) fueron establecidos a finales del siglo XIX. Sin embargo, las innovaciones tecnológicas en los últimos años del siglo XX fueron las que determinaron que cirugías mínimamente invasivas no fueran un hecho aislado: las innovaciones en este tipo de cirugía se iniciaban.

Creada con el precedente de la pelviscopia en ginecología y la artroscopia en cirugía ortopédica, la realización de las técnicas mínimamente invasivas se expandió a otras especialidades quirúrgicas incluyendo la cirugía general, urológica y torácica. Este precedente cambió la ejecución de técnicas específicas y, adicionalmente, el enfoque estratégico en todas las intervenciones. Las tecnologías que facilitaron estos cambios fueron (1) El desarrollo del sensor óptico electrónico (**CCD por sus siglas en inglés**) de acoplamiento, que hizo posible la transmisión de imágenes de video de alta resolución (2) Fuente de luz de halógeno y xenón de alta intensidad que optimizaron la iluminación del campo operatorio, y (3) El diseño de instrumentación especial destinada a fines endoscópicos.

En apenas pocos años la **CL** se convirtió en la “**Regla de Oro**”. Estos acontecimientos trajeron como consecuencia que las técnicas mínimamente invasivas se utilizaran en otras intervenciones abdominales: hernias, técnicas antirefujo, cirugía colo-rectal, operaciones ginecológicas, urológicas, torácicas, cardíacas y recientemente en la del tiroides y paratiroides.

Los procedimientos quirúrgicos con alto número de pacientes resultaron exitosos, con periodos de tiempo de resolución más cortos, que los de bajo número. Esto ofrecería la oportunidad de perfeccionar rápidamente las destrezas y a la vez permitirían que se diseñaran nuevas tecnologías. El éxito de la **CL** se fundamentó, en gran medida, en que se trata de un procedimiento sencillo (extirpación) y en la realización de un elevado

número de casos (aproximadamente 400.000 al año) con la posibilidad de perfeccionar el método. Esto permitió a los investigadores diseñar nuevo instrumental. Otras técnicas no han evolucionado tan rápidamente debido a que presentan un bajo número de casos.

Inicios de la cirugía robótica

El evento que marcó el inicio de la era moderna de la robótica fue el diseño por Devol, en 1954, del manipulador integrado a los robots. La informática constituyó la base del boom que ocurrió en la cirugía a partir de 1985, cuando Muhe, en Coligen Alemania, realizó la primera **Colecistectomía Laparoscópica** (Reynolds 2001). En cirugía general, el robot fue introducido para tratar de reducir los riesgos, en los pacientes, atribuidos a los movimientos inapropiados del endoscopio y al temblor de las manos del cirujano; lo cual incrementaba la dificultad en la realización de maniobras delicadas.

El desarrollo del brazo artificial automatizado, multiarticulado, con el paso de los años condujo, al moderno robot. En 1954, Devol desarrolló un brazo primitivo programable para tareas específicas. En 1975, Scheinman desarrolló el manipulador flexible conocido como **PUMA** (Brazo Manipulador Universal Programable). El concepto básico multiarticulado del PUMA es la base de la mayoría de los robots actuales.

Cirugía robótica: presente y futuro

La revolución tecnológica ha alcanzado uno de sus niveles más altos en el campo de la cirugía. Con frecuencia ocurren avances impresionantes con nuevas modalidades diagnósticas y de tratamiento. Los avances en las técnicas quirúrgicas, informáticas y de Internet ha permitido extender las capacidades de los cirujanos hasta lo que hoy se conoce con el término de telecirugía (Galvani y Horgan 2005).

Philippe Green del Instituto de Investigaciones de Stanford California (USA) diseñó, en 1991, el primer prototipo para realizar telecirugía; también denominada cirugía de telepresencia o cirugía asistida por computadora. En ese mismo año Taylor junto a Paúl y Bela Mussists, de Sacramento California, USA; iniciaron un programa clínico con el **ROBODOC**, un robot que utilizó la información suministrada por las TAC para implantar prótesis en el fémur. Así mismo, Satava, cirujano del ejército de USA a cargo del Advanced Biomedical Technology Program, en conjunto con Green, realizaron investigaciones con relación en la manipulación remota.

Sackier, en la Universidad de San Diego California, en 1993, utilizando el robot AESOP 1000 (Advanced Endoscopy System for Optimal Positioning) realizó la primera **CL** asistida por robot. En 1993, se diseñó el ESOP; sistema de robots esclavos que obedecen los comandos de voz del cirujano, quién controla las opciones electrónicas del quirófano (mesa quirúrgica, lámparas y equipos de laparoscopia), así como las comunicaciones vía telefónica o Internet. Esta integración tecnológica se conoce como quirófano inteligente.

El cirujano francés Marescaux realizó en el 2001, la operación conocida como “Operación de Linberg”, primera intervención quirúrgica a distancia, utilizando el sistema ZEUS de Computer Motion Inc., desde New York, USA.

En un esfuerzo para mejorar las técnicas quirúrgicas (evitando las desventajas de la cirugía laparoscópica pero manteniendo las ventajas de la cirugía mínimamente invasiva) ha surgido la robótica como un procedimiento factible y seguro. Esta ha sido utilizada tanto en cirugía general como en las subespecialidades (Cadeddu *et al.* 1997). Esta cirugía ha superado ampliamente la fase experimental y sus resultados han comenzado a tener amplia difusión entre los cirujanos generales y especialistas de Europa (Bélgica, Italia, Francia, España) y de USA. La cirugía robótica representa la segunda revolución quirúrgica en los últimos años después de la introducción de la laparoscopia; sin embargo, se han presentado algunas limitaciones para su amplia difusión.

Entre las principales limitaciones de la cirugía robótica se describen: (1) El costo de los equipos y del instrumental, (2) El lento progreso en el desarrollo de nuevas herramientas que permita aplicarlo a otro tipo de intervenciones, (3) La necesidad de someterse a un entrenamiento específico, y (4) En algunas regiones a limitaciones éticas y legales.

Hasta el presente han sido desarrollados dos sistemas robóticos (1) el sistema ZEUS y Hermes [para el control computarizado de la imagen y de los movimientos requeridos] y (2) el sistema Da Vinci y Mona Da Vinci [para el control de la visión y manipulación]. Estos sistemas permiten mejorar la performance quirúrgica con técnicas de mejor visión, reducción del tiempo operatorio, rápida curva del aprendizaje, mejoramiento de las destrezas con mayor flexibilidad y libertad y posibilidad de movimientos [éstos últimos gracias a la innovación que representa los brazos articulados al interior y exterior del paciente (similar a la cirugía abierta). Por

otra parte, se elimina el temblor fisiológico del cirujano y se aumenta la precisión de las maniobras y, además, se obtiene visión tridimensional lográndose una mejor coordinación de los movimientos con mayor precisión de la visión. Las ventajas teóricas de la cirugía robótica estarían representadas por la recuperación de los grados de libertad de movimientos (la rotación “muñeca”), el ingreso de los instrumentos a sitios de difícil acceso (discección esofágica, en el mediastino anterior alto, subcarinal) y por la posición ergonómica (confortable y a distancia para el cirujano); incluso puede realizarse la intervención a distancia a través de la transmisión de imágenes (mediante la conexión satelital, a kilómetros de distancia). Estas ventajas vienen a sumarse a las ya reconocidas de la cirugía de mínima invasión (Marescaux *et al.* 2001).

El futuro de la cirugía robótica

A medida que los cirujanos se vuelven más expertos en la cirugía robótica, han aparecido nuevas técnicas, bariátrica y en cirugía plástica. El cirujano puede utilizar sus dos brazos con movilidad absoluta, ha permitido que se convierta en su propio asistente. Adicionalmente, se están diseñando los robots asociados a simuladores para el entrenamiento, acortando su curva de aprendizaje.

El mayor obstáculo para la robótica está representado por el costo de estos equipos e instrumentos. Una segunda dificultad sería el tiempo necesario para iniciar su uso. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, sus ventajas son prometedoras, pues permiten que un mismo cirujano controle varios robots en diferentes quirófanos, o incluso efectúe tele cirugía (en las que el cirujano no se encuentre ni siquiera cerca de la sala de cirugía).

En un futuro, con la integración de las imágenes, navegación y las capacidades sensoriales se podrán diseñar instrumentos con mayor posibilidad de angulaciones. Esta mayor libertad de movimientos superando incluso los de la mano de hombre. También se esperaría la miniaturización de los brazos robóticos para micro-manipulación de los órganos.

CONCLUSIONES

Los atributos esenciales para un robot son: autonomía, confiabilidad y versatilidad. La tecnología y la cirugía moderna han ido refinando los sistemas robóticos para que cumplan estos tres objetivos.

En un futuro los robots serán más pequeños, versátiles,

menos costosos, fáciles de operar y podrán integrarse con otras tecnologías emergentes.

La ciencia y la tecnología trabajan por y para el hombre con un solo objetivo final; mejorar la calidad de vida.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación representa el producto de la pasantía de estudio en el **CEDARS SINAI MEDICAL CENTER** de la Universidad Central de Los Ángeles California. subvencionada por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela PI No 09-00-6197-2006.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADVINCULA A; REYNOLDS R; KARTHA P; HOUNG P; FALCON T, GOLDBERG J.2003. *Telerobotic laparoscopic hysterectomy and myomectomy case series*. SLS Annual Meeting, 12th International Congress and Endo Expo. Las Vegas.
- ANNIBALE AD; ORSINI C.; MORPUGO E.; SOVERNIGO G.; VALLERIO M.; MENIN N. 2006 *Cirugía Robótica del aparato gastrointestinal*. Endosurgery; No14:1-7. Disponible en Internet. [http:// www.seclaendosurgery .com/seclan14/articulos/art02.htm](http://www.seclaendosurgery.com/seclan14/articulos/art02.htm).
- ARROYO C. 2005. *Cirugía Robótica*. Rev Elementos, Ciencia y Cultura.; 58 (12):13. Disponible en Internet. [http:// www.ciberhabitat.gob.mx/hospital/robotica/inicio.htm](http://www.ciberhabitat.gob.mx/hospital/robotica/inicio.htm).
- BALLANTYNE GH. 2002. *Robotic surgery Telerobotic surgery, telepresence, and telementoring. Review of early clinical results*. Surg Endosc. 6(10):1389-402.
- BALLANTYNE GH.; MOLL F. 2003. The da Vinci telerobotic surgical system: the virtual operative field and telepresence surgery. Surg Clin Nort A.; 83:1293-304.
- BODNER J.; WYKPIEL H.; WETCHER G.; SCHMID T. 2004. *First experiences with the Da Vinci operating robot in thoracic surgery*. Eur J Cardiothorac Surg;25-844-851.
- CADIERE GB.; HIMPENS J.; VERTRUYEN M. 2001. Evaluation of telesurgical (robotic) Nissen fundoplication. Surg Endosc; 15: 918-923.
- CHANG L.; SATAVA RM.; PELLEGRINI CA.; SINANNAN MN. 2003. *Robotic!Surgery, identifying the learning curve thought objective measurement of skill*. Surg Endosc; 17: 1744-1748.
- CARVAJAL RA. 2003. *Cirugía robótica*. Rev Cir Gen; 25(4):314-320.
- CLEARCY K.; BEGUINE C. 2001. *State of art in surgical robotics: clinical applications and technology challenges*. Computer Aide Surgery. 6; 321- 328.
- CARAMILLO D.B.;TAYLOR RH.; HARVEY I.; CLIFF D. 2004. *Robotic Surgery today and tomorrow. The American Journal of Surgery*; 118: (Suppl) 2S-15S.
- DAVID CJ.; FILIPI CJ. 1995. *A history of endoscopic surgery*. In Arregui ME, Fitzgibbons RJ Jr, Katkhouda N, McKeman JB, Reich H.eds Principles of Laparoscopic surgery: Basic and Advanced Techniques. New York, NY: Springer –Verlag NY Inc; 3-20.
- DAVIES BL.; HIBBERD, RD.; TIMONEY AG.; WICKHAM, JEA. 1995. *A clinical applied robot for prostatectomyes*. En Computer – Integrated Surgery. Taylor RH, Lavallee S, Burdea Gc Moges R, editors. MIT Press; Cambridge, Massachusetts, USA: p. 593-601.
- GALVANI C, HORGAN S. 2005. *Robots en cirugía general: presente y futuro*. Cir Esp; 78:138-147.
- GREEN SP.; HILL JH.; SATAVA RM. 1991 *Telepresence dexterous procedures in a virtual operating field*. Surg Endosc; 57: 192.
- GREEN SP.; HILL JW.; JENSEN JF. 1995. Telepresence surgery . Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology. May- June .p. 324-329.
- HANISCH E; MARKUS B; UGT C. 2001. *Robot –assisted laparoscopic cholecystectomy and funduplications. Initial experience with the Da Vinci system*. Chirurgie. 72: 286-288.
- HOGAN S.; VANUNO D. 2001. *Robots in laparoscopic surgery*. J Laparoendosc Adv Surg Tech A ; 11:

- 415-419.
- KEHLET, H.; WILMORE DW. 2002. *Multimodal strategies to improve surgical outcome.* Am J, Surg,183; 630- 641.
- HYUNG L.; KIM; SCHULAM P. 2004. *The PARKY, HERMES, AESOP, ZEUS and da Vinci robotic systems.* Clinics Urologic of Nort America.31: 659-669.
- MARESCAUX J.; RUBINO F. 2003. *The Zeus robotic system: experimental and clinical APPLICATIONS.* ANN SURG; 83: 1305-1315.
- MARESCAUX J.; SMITH MK.; FOLSCHER D.; JAMAL F. 2001. *Telerobotic Laparoscopic Cholecystectomy: initial clinical Experience With 25 Patients,* Ann Surgery; 234 (1):1-7.
- PERISSAT J.; OLLER D.; BELLIARD R.; CAPEK K.; CARVAJAL RA. 1992. *Laparoscopic cholecystectomy: the state of the art. A report on 700 consecutive cases.* World J Surg; 16: 1074-1082.
- REYNOLDS W JR. *The first laparoscopic cholecystectomy.* SLS 2001; 5 :89-94.
- RUUDA JP. BROEDERS IA. SIMMERMACHER RP, RINKS IH, VAN VROONHOEN TJ, 2002. *Feasibility of robotic assisted laparoscopic surgery: an evaluation of 35 robot-assisted laparoscopic cholecystectomies.* Surg Laparosc Endosc Percutan Tech; 12: 41-45.
- SACKIER JM.; WANG Y. 1994 *Robotically assisted laparoscopic surgery From concept to development.* Surg Endosc; 8: 63-66.
- KAVOOUSSI LR.; MOORE RG.; PARTIN AW.; BENDER JS.; ZENILMAN ME.; SATAVA RM. 1994. *Telerobotic assisted laparoscopic surgery: initial laboratory and clinical experience.* Urology; 44(1):15-19.
- SACKIER JM. 1994. *The next wave in minimally invasive surgery; robotics.* Gen Surg Laparosc News. April.
- SATAVA RM. 1999 *Emerging technologies for surgery in the 21st century,* Arch Surg 1999;134: 11197-202.
- TALAMI M.; CHAPMAN S.; HORGAN S. Campbell K.; Stanfield. 2003. *Prospective analysis of 221 robotic assisted surgical procedures.* Surg Endosc; 17: 1521-4.