

Telemedicina - Aplicaciones Quirúrgicas Cirugía Robótica (I) - Origen y Evolución

Carlos Martínez-Ramos

Departamento de Cirugía. Facultad de Medicina. Universidad Complutense.

Hospital Clínico San Carlos. C/ Prof. Martín Lagos, s/n. 28040-Madrid.

cmartinez.hcsc@salud.madrid.org

Resumen: Se describe el origen de la cirugía laparoscópica, cuyos inconvenientes han dado lugar a que se desarrollen los sistemas quirúrgicos robóticos. Se analiza el origen y la evolución de los sistemas robóticos. Se describen los primeros prototipos robóticos. Se describen los diversos componentes así como el funcionamiento de los sistemas robóticos Da Vinci y Zeus. Se analizan las ventajas y los inconvenientes actuales de la cirugía robótica.

Palabras claves: Cirugía robótica. Robot Da Vinci. Robot Zeus. Realidad virtual. Cibernética.

INTRODUCCION

El arte y la ciencia de la cirugía han experimentado un desarrollo extraordinario durante los últimos 150 años desde la introducción de las técnicas antisépticas de Lister, pasando por la evolución y mejora de los agentes anestésicos, la aparición de los antibióticos, la nutrición parenteral, el trasplante de órganos, etc. A pesar de todos estos avances las herramientas quirúrgicas y las técnicas permanecieron básicamente iguales en lo que respecta al gesto de “cortar y coser” con instrumentos manuales. También ha permaneció inalterable durante este tiempo la necesidad de realizar la intervención quirúrgica mediante la visualización y el contacto directo con el órgano o tejido objeto de la intervención.

Sin embargo, durante el último cuarto del siglo pasado, y especialmente a partir de la década de los años 80, ha habido un cambio paradigmático en las técnicas quirúrgicas. Con la llegada de la cirugía endoscópica, por primera vez un cirujano no tiene que ver directamente ni tocar los tejidos u órganos que opera. Creada con el precedente de la pelviscopia en ginecología y la artroscopia en cirugía ortopédica, se origina la [cirugía laparoscópica](#) en la que la utilización de pequeñas videocámaras que sustituyen la visión directa a través del ocular del laparoscopio, permite la visualización del campo operatorio a través de un monitor, mejorando no solo la “exposición” del campo quirúrgico sino

permitiendo también que este fuese visto por todos los miembros que participan en la intervención.

La cirugía laparoscópica podría resumirse como "[la extensión de las manos y la miniaturización de los ojos](#)", haciendo accesibles zonas que anteriormente requerían grandes incisiones. A la cirugía laparoscópica se la ha denominado incorrectamente "[cirugía mínimamente invasiva](#)", cuando en realidad debería llamarse "[cirugía de acceso mínimamente invasivo](#)", ya que es el acceso quirúrgico lo que se ha "minimizado" mientras que la intervención quirúrgica propiamente dicha sigue teniendo, como mínimo, la misma complejidad que en la cirugía abierta.

El uso de esta técnica de acceso mínimamente invasivo en diferentes especialidades quirúrgicas, incluyendo cirugía general, urología, cirugía torácica, cirugía plástica y cirugía cardíaca, ha cambiado no sólo la ejecución de operaciones específicas sino, más importante aún, el enfoque estratégico de toda la cirugía.

A pesar de las grandes ventajas de la cirugía laparoscópica, tiene sin embargo algunas importantes limitaciones, siendo las más destacables debidas a carencias del equipamiento de índole técnica y mecánica: pérdida de la sensación de profundidad, pérdida de la sensación táctil y de fuerza, pérdida de la coordinación natural ojos-manos y la consiguiente pérdida de destreza manual.

En la cirugía laparoscópica cuando se mueven los instrumentos laparoscópicos observados a través de un monitor en 2 dimensiones, se produce una situación contraria a la que induce la intuición natural. Al observar a través del monitor, se debe mover el instrumento laparoscópico en dirección opuesta a la que queremos dirigirlo para manipular quirúrgicamente en una determinada zona. Esta situación compromete y altera la correcta [coordinación ojo–mano](#) provocando la consiguiente pérdida de destreza. A esta situación se le conoce como "[fulcrum effect](#)".

Por otra parte los movimientos del instrumental laparoscópico actual tienen restricciones en relación con sus grados de libertad. La mayoría tiene 4 grados de libertad mientras que las articulaciones de la muñeca y de la mano humanas tienen 7 grados de libertad.

También existe una disminución de la sensación del tacto lo que hace que la manipulación tisular dependa siempre de la visualización, con la consiguiente situación de fatiga que se deriva de ello. Por último los temblores fisiológicos de los cirujanos se transmiten rápidamente y de manera ampliada a través de los instrumentos laparoscópicos, largos y rígidos. Todas estas situaciones hacen que la disección anatómica sea más difícil así como la realización de maniobras quirúrgicas como anastomosis, que en algunos casos es incluso imposible.

El desarrollo de los robots quirúrgicos se ha producido precisamente y fundamentalmente para superar y eliminar estas limitaciones técnicas de la actual cirugía laparoscópica. Los robots quirúrgicos han sido imaginados, ideados y diseñados para

umentar y extender las capacidades de los cirujanos más allá de los límites que impone la cirugía laparoscópica.

CONCEPTO DE ROBOT QUIRÚRGICO

El término “robot” deriva de la palabra checa “[robotá](#)” empleada por el dramaturgo checo Karel Capek en la obra teatral, escrita en el año 1921, llamada “[Rossum’s Universal Robots](#)” (“R.U.R.”). En ella el protagonista hace el papel de Dios, creando unos seres mecánicos ([robotá](#)) para servir a la humanidad. Estos robots se perfeccionan y se rebelan más tarde convirtiendo a los humanos en sus servidores.

La palabra checa [robotá](#) significa “[trabajador](#)” pero en esta obra se le daba el sentido de “[trabajador forzoso](#)” o “[esclavo](#)”. En la época feudal de Checoslovaquia la palabra [robotá](#) se refería a los campesinos que eran obligados, dos o tres veces por semana, a abandonar sus propias tierras para trabajar, sin remuneración, en las tierras de los nobles. Esta palabra permaneció durante mucho tiempo con este significado, y aun hoy en día los jóvenes la utilizan para referirse a trabajos aburridos y carentes de interés.

El sentido del termino robot ha evolucionado desde su fase inicial en la que se empleaba para describir maquinas mudas que realizaban trabajos y tareas serviles y repetitivas, hasta el concepto actual en el que se considera que los robots realizan tareas, no solo altamente especificas y precisas sino también peligrosas, en la industria y en la investigación, tareas que antes eran imposibles de llevar a cabo con la fuerza y la destreza de un trabajador humano. En este sentido los robots se utilizan actualmente y de forma rutinaria para construir microprocesadores para ordenadores, para explorar el espacio y las profundidades marinas o para trabajar en ambientes peligrosos, por citar solo algunos ejemplos.

Los robots son esencialmente sistemas mecánicos controlados por microprocesadores y equipados con sensores y motores. Los robots quirúrgicos están basados en dos conceptos fundamentales que son la [Realidad Virtual](#) y la [Cibernética](#).

Se habla de [realidad virtual](#) porque se logran los efectos de inmersión que se producen en 3 dimensiones: navegación, interacción y simulación, sólo que ésta última es sustituida por el tiempo real, es decir lo que se ve en 3 dimensiones en el monitor, es real y lo que se toca a través del robot, también es real.

La [cibernética](#) es la ciencia que se ocupa de los sistemas de control y de comunicación en las personas y en las máquinas, estudiando y aprovechando todos sus aspectos y mecanismos comunes. Dentro de ella se encuentra la robótica. Ésta estudia el desarrollo de robots que son mecanismos articulados programados, con partes mecánicas, motores, grados de libertad, cámaras, sensores, transductores, almacenamiento de información, programas especializados para procesamiento de datos, optimización de funciones e interfaces conectados a elementos ejecutores de tareas específicas.

Los robots pueden ser **autónomos**, los cuales necesitan de un programa diseñado para realizar ciertas actividades y **esclavos**, que no tienen capacidad de movimiento autónomo y son absolutamente dependientes. En la cirugía robótica se utiliza un **robot esclavo** que no puede hacer ningún tipo de movimiento sin las órdenes del cirujano. Es decir que es absolutamente dependiente del juicio, de los conocimientos y de la habilidad del médico. Consta de una estructura que semeja la anatomía de los brazos humanos, capaz de imitar los movimientos de diversas articulaciones como las del hombro, codo, muñeca y manos.

La clásica falta de conexión entre la robótica industrial y la medicina en general, y la cirugía en particular, se ha ido perdiendo progresivamente gracias a la introducción de la cirugía laparoscópica. En efecto, en la actualidad los **sistemas robóticos quirúrgicos** se entienden como aparatos concebidos con la finalidad de ayudar a mejorar la destreza y la capacidad quirúrgica del cirujano laparoscópico, fundamentalmente la falta de precisión derivada de la reducción de la libertad del cirujano para la manipulación quirúrgica, y la pérdida de la sensación de profundidad que provoca la visión en dos dimensiones.

La precisión técnica mejora al colocar un microprocesador entre la mano del cirujano y la punta del instrumento quirúrgico, lo cual permite realizar tareas en microescala que serían imposibles sin la ampliación por computadora. El "**desplazamiento o movimiento a escala**" consiste en convertir los movimientos amplios y toscos de la mano, en movimientos delicados y precisos permitiendo además un mejor control de la resistencia mecánica, todo lo cual permitirá al cirujano realizar manipulaciones que sin este sistema serían imposibles. El aumento y la mejora de la destreza se acompañan paralelamente de una considerable mejora en la seguridad.

Por otra parte, cuando se trabaja con imagen ampliada como en la cirugía laparoscópica el temblor, que en mayor o menor grado existe de manera fisiológica en la mano del cirujano, también se aumenta y se magnifica, incrementando la incidencia de movimientos que no tienen un fin determinado. Para compensar esta situación el cirujano debe enlentecer el procedimiento, aumentando el tiempo operatorio. Esto junto con la postura fija y rígida del cirujano en la cirugía laparoscópica conduce a la aparición de fatiga que, a su vez, aumenta aun más el temblor y los movimientos no deseados.

Los sistemas robóticos tienen programas informáticos que filtran y eliminan los temblores de las manos. Por otra parte los reposabrazos que existen en las consolas robóticas añaden estabilidad y confort durante el procedimiento quirúrgico, aumentando la resistencia física frente al mismo. Estas prestaciones, características de la cirugía robótica, y la posibilidad de modular la amplitud de los movimientos del cirujano mediante el escalamiento reducido y la estabilización conseguida por la robótica, traducen los movimientos durante la operación en suaves y precisas maniobras quirúrgicas.

El aumento de la destreza quirúrgica por la robótica es aplicable a múltiples situaciones. Un ejemplo de lo que se puede conseguir, es la canulación de las venas de la retina (estructuras de 100 micrones) con la aguja de un sistema robótico para la

administración de una terapia local a fin de tratar la trombosis de la venas de la retina; esta técnica no sería posible sin la alta precisión que proporciona la robótica.

La [cirugía robótica](#) también llamada [cirugía asistida por computadora](#) y [cirugía de telepresencia](#), es un sistema interactivo computarizado, tan veloz e intuitivo, que la computadora desaparece de la mente del cirujano, apareciendo como real el entorno generado por el sistema. A través de la realidad virtual, el cirujano determina las maniobras que el robot ejecutará en el paciente. La consola de mando donde trabaja el cirujano puede situarse en el mismo quirófano, y eventualmente en otro lugar de la misma ciudad o incluso en otro país.

EVOLUCION DE LOS ROBOTS QUIRURGICOS

La historia de los robots quirúrgicos comienza en el año 1985 con el robot [Puma 560](#) utilizado para aumentar la precisión en la realización de biopsias cerebrales mediante cirugía estereotáxica. Tres años más tarde se realizó una resección transuretral de próstata utilizando dicho robot.

Este sistema condujo al ulterior desarrollo del robot [Probot](#) diseñado específicamente para realizar prostatectomías de alta precisión. Este modelo se caracterizaba por sus seis brazos articulados. El robot se colocaba sobre el periné del paciente, los cirujanos introducían manualmente el resectoscopio dentro de la uretra y lo conectaban al robot. Los parámetros anatómicos de la próstata son determinados por medio de ultrasonido transrectal, que analizados por la computadora activan los tres motores eléctricos y la diatermia que reseca el área predeterminada de tejido prostático.

Mientras tanto, la empresa [Integrated Surgical Supplies Ltd.](#) de Sacramento, CA, desarrollaba el robot [Robodoc](#), un sistema robótico para preparar mecánicamente la zona del fémur donde ha de colocarse la parte femoral de una prótesis total de cadera. Su desarrollo corrió a cargo de los doctores R.H. Tylor y H.A. Paul, del Centro de Investigaciones de la Universidad de California. Consiste en un brazo robótico controlado por medio de computadora con un instrumental especializado en preparar los extremos óseos para los implantes protésicos. El sistema calcula y planea, a partir de reconstrucción de imágenes en 3 dimensiones, la mejor preparación de los extremos articulares y la óptima colocación de la prótesis (del acetábulo y del tallo femoral en cadera y del fémur y tibia en rodilla). En la prótesis de cadera este instrumento es capaz de colocar, con extrema exactitud, la prótesis sobre el cuello del fémur lo cual reduce considerablemente la holgura de la prótesis y la posibilidad de un futuro desplazamiento. El sistema [Robodoc](#) ha sido empleado en más de 8.000 procedimientos de artroplastias en todo el mundo incluyendo cadera y rodilla.

Por otra parte, a mediados-finales de los años 80 un grupo de investigadores de la NASA ([National Aeronautics and Space Administration](#)) y del [Ames Research Center](#) que trabajaban sobre realidad virtual, se interesó en la aplicación de estos avances en el desarrollo de la llamada [cirugía de telepresencia](#) o [telecirugía](#). Este concepto de

[telecirugía](#) fue uno de los motivos que con más fuerza impulsó el desarrollo de los robots quirúrgicos.

Así, a principios de los años 90, algunos de los científicos de la NASA y del Ames Research Center coincidieron en el [Stanford Research Institute](#) (SRI) donde continuaron trabajando en unión de expertos en robótica y en realidad virtual de este Instituto. Este grupo de científicos desarrolló un telemanipulador experto para cirugía. En 1992, el ingeniero Philippe Green del Instituto de Investigación de Stanford, realizó investigaciones en manipulación remota, y desarrolló prototipos de sensores y efectores maestro-esclavo para poder realizarla.

Mientras se producía el desarrollo de estos robots, cirujanos generales que iniciaban la utilización de la cirugía laparoscópica contactaron con este grupo investigador constatando el potencial que tenían esos sistemas robóticos para mejorar las limitaciones de la cirugía laparoscópica.

Por otra parte, el ejército americano se interesó en la posibilidad de disminuir la mortalidad en época de guerra mediante la “[aproximación](#)” del cirujano al soldado herido mediante la [telepresencia](#). Con financiación del ejército americano se ideó un sistema mediante el cual se podía transportar un soldado herido a un vehículo con equipamiento robótico quirúrgico y allí ser intervenido quirúrgicamente de manera remota, por un cirujano que se encontraría en un hospital de campaña ([Mobile Advanced Surgical Hospital. MASH](#)). Con este sistema se pretendía disminuir la mortalidad de los soldados heridos, fundamentalmente evitando la pérdida masiva de sangre mediante esta teleoperación, antes de que pudieran ser evacuados al hospital quirúrgico de campaña. La eficacia de este sistema se demostró experimentalmente en modelos animales pero todavía no ha sido utilizado en el campo de batalla.

Algunos de los ingenieros y cirujanos que trabajaron en este proyecto pasaron a desempeñar por su cuenta una actividad empresarial que condujo a la introducción de la robótica en la comunidad quirúrgica civil. De manera especial la empresa [Computer Motion, Inc.](#) de Santa Bárbara, CA, utilizó fondos provenientes del ejército americano para desarrollar el [Sistema Endoscópico Automatizado para Posicionamiento Óptimo](#) ([Automated Endoscopic System for Optimal Positioning, AESOP](#)), un brazo robótico con una cámara endoscópica controlado por ordenes mediante la voz del cirujano. Poco tiempo después AESOP fue comercializada.

Por otra parte la empresa [Integrated Surgical Systems](#) (actualmente [Intuitive Surgical](#)) de Mountain View, CA, obtuvo la licencia del [Stanford Research Institute](#) sobre el sistema quirúrgico de telepresencia que había ideado Phillip Green ([Green Telepresence Surgery system](#)). Este sistema se rediseñó ampliamente y posteriormente se comercializó con el nombre [Sistema Quirúrgico Da Vinci](#). Un año después la empresa [Computer Motion](#) empezó a producir otro [Sistema Quirúrgico](#) llamado [Zeus](#).

Los sistemas robóticos antes mencionados, Prodoc, Robodoc, AESOP, Da Vinci y Zeus ya han sido aprobados por la FDA para uso quirúrgico.

Desde la aprobación por la FDA de los robots Da Vinci y Zeus para su utilización quirúrgica, ha existido entre ambos sistemas una especie de “duelo de robots” a pesar de poseer, en principio, unas prestaciones básicamente similares. La competencia entre ambos sistemas robóticos estuvo acompañada por disputas entre las empresas que los habían desarrollado, Computer Motion (Zeus) e Intuitive Surgical (Da Vinci), respecto a la propiedad intelectual de algunos de sus componentes.

En este marco de batalla comercial entre empresas que desarrollan nuevas tecnologías aplicadas a los robots quirúrgicos para un mercado en principio muy limitado, se tuvo que llegar a la fusión de las mismas, lo que ocurrió en junio de 2003 tras la compra de Computer Motion por Intuitive Surgical. A partir de ese momento el objetivo prioritario se centró únicamente en el sistema Da Vinci, a pesar de lo cual muchos cirujanos continúan utilizando el sistema Zeus. Además éste es el único sistema robótico que en la actualidad se ha empleado para realizar telecirugía humana sobre grandes distancias.

SISTEMA ROBÓTICO QUIRÚRGICO “Da Vinci”

El [sistema Da Vinci](#) consta básicamente de los siguientes elementos: consola maestra, robot esclavo, instrumental y sistema de obtención de imagen.

Consola Maestra

Es la mesa de control, situada a distancia de la mesa de operaciones, donde el cirujano ejecuta los movimientos que habrá de realizar el robot. Dado que este sistema es un robot tipo [maestro- esclavo](#), el cirujano es el [maestro](#) y controla todas las acciones del [esclavo](#) que contiene los brazos robóticos. La consola sirve de [interface](#) o comunicación entre el cirujano y el robot.

El cirujano observa el campo operatorio a través de unos binoculares contenidos en la consola, que proporcionan visión estereoscópica de alta resolución. Sus brazos se colocan en unos reposabrazos almohadillados que proporcionan estabilidad y confort, aumentando la resistencia física, y sus manos cogen con los dedos unos manipuladores o mangos instrumentales similares a los que posee un instrumento quirúrgico de cirugía convencional.

En esta posición se restituye el eje “[ojo-mano-campo operatorio](#)” haciendo más ergonómico el sistema y más fácil de realizar la operación. La sensación que se obtiene es como si se introdujera la mano en el interior del paciente para realizar procedimientos quirúrgicos complejos.

La consola traduce los movimientos en 3 dimensiones de las manos del cirujano en impulsos eléctricos que a su vez son transformados en órdenes para los brazos robóticos que realizarán idénticos movimientos en 3D. Usando los controles de la consola el

cirujano puede realizar la cirugía, modificando sus movimientos, en escalas de 1 a 1, de 3 a 1 ó de 5 a 1.

La consola controla y chequea cada uno de los motores del robot y verifica la posición del instrumental quirúrgico que se esté utilizando, cada 750 microsegundos, eliminando pues la posibilidad de que se produzcan movimientos erróneos. El software está diseñado de manera que si el cirujano hace un movimiento brusco los brazos robóticos se frenan automáticamente y además, un sistema de rayos infrarrojos los desactiva siempre que el cirujano retire los ojos del sistema binocular.

Robot esclavo

El robot esclavo está constituido por tres brazos (actualmente puede haber un cuarto), uno de los cuales contiene el manipulador para la cámara y los otros dos los manipuladores de instrumentos articulados que reproducen los movimientos de las manos del cirujano realizados desde la consola maestra. El robot esclavo se encuentra conectado a la consola por medio de cables y está montado en un soporte móvil que permite instalarlo al lado de la mesa de operaciones.

Instrumental

Se utiliza un instrumental especial, con un pequeño sistema de articulación mecánica llamado [EndoWrist](#) que es un componente clave del sistema robótico. El ordenador del robot transmite los movimientos de la mano del cirujano a la punta articulada del instrumental en donde son reproducidos en el mismo sentido, eliminando el [efecto fulcrum](#) o de movimiento inverso y proporcionando 7 grados de libertad de movimientos en cada mano, lo que confiere la posibilidad de una gran destreza. Este instrumental articulado puede tener como efector final cualquier instrumento quirúrgico estándar y convencional utilizado en la cirugía abierta: tijeras, bisturí, diferentes tipos de pinzas, ganchos, disectores, porta-agujas, etc. y puede intercambiarse durante la cirugía con la ayuda del instrumentista y del ayudante del cirujano.

Los brazos de un ser humano tienen [29 grados de libertad](#) de movimiento que realizan en los tres planos cartesianos, por lo que pueden realizar 594.823.321 movimientos. El instrumental de sistema [Da Vinci](#) tiene [7 grados de libertad](#) de movimientos en tres planos cartesianos o sea 117.649 movimientos, esto representa el 0.019% del total de la capacidad del brazo del ser humano, cercano al que utiliza el cirujano en una cirugía convencional. Esta cifra es muy superior comparada con los [3 grados de libertad](#) y 729 movimientos que podemos realizar con los instrumentos de cirugía laparoscópica y que representan únicamente el 0.00012 % del total de la capacidad del brazo humano y el 0.61 % de la capacidad del robot Da Vinci.

Sistema de obtención de imagen

Es muy parecido al sistema convencional utilizado en cirugía laparoscópica pero en [tercera dimensión real](#). Consta de una cámara doble que le permite obtener dos señales

de video (canal derecho e izquierdo) que al integrarse conforman una señal de video estereoscópica, que es proyectada por dos monitores de alta resolución a un sistema conocido como "caja de espejos" para crear una tercera dimensión real, la cual proporciona al cirujano la sensación de "inmersión" en el campo quirúrgico y de que la punta de los instrumentos quirúrgicos constituyen una extensión de los mandos de control de la consola maestra. Cuando el cirujano mueve la cámara en el campo operatorio consigue el efecto conocido como "navegación". Las imágenes obtenidas por medio de los visores telescópicos logran aumentar hasta 20 veces el tamaño normal, lo que permite al cirujano ver los órganos con mucho más detalle.

Procedimiento

El cirujano opera sentado confortablemente en un asiento que puede ajustar a su altura y con la proximidad que desee con respecto a la consola maestra. Sitúa los brazos en unos reposabrazos. Coloca su cabeza de manera que sus ojos se ajusten a los visores que le permiten ver imágenes reales del interior del paciente en tres dimensiones. Los dedos del cirujano cogen el instrumental por debajo de las imágenes, con las muñecas posicionadas de forma natural en relación a sus ojos, devolviendo al cirujano la perspectiva y la sensación de **estar dentro del campo operatorio**, todo lo cual se ha perdido con la cirugía laparoscópica.

Mediante la cámara telescópica, el cirujano puede "navegar" dentro del cuerpo del enfermo, localizar el órgano afectado e interactuar con tijeras, pinzas de sujeción, bisturí, electrocauterio, láser, disectores ultrasónicos y el resto de los recursos quirúrgicos. El cirujano siempre está viendo a través de los monitores el instrumental que utiliza.

Los movimientos de los brazos del robot, se originan en las manos del cirujano por medio de manipuladores o mangos instrumentales similares a los que posee el instrumental quirúrgico de una cirugía convencional. Estos se encuentran conectados a la consola maestra y al moverlos generan comandos reales que pasan por un sistema avanzado de computación donde son digitalizados y editados a la velocidad de la luz, para luego ser transmitidos a los brazos del robot que ejecutará lo dispuesto. En la consola del cirujano se restituye el eje "ojo-mano-campo operatorio" que se pierde en la cirugía laparoscópica, haciendo más ergonómico el sistema y más fácil de realizar la operación.

Gracias a sus características, los sistemas robóticos proporcionan al cirujano un control intuitivo, una amplia gama de movimientos, capacidad de manipulación de tejidos finos y visualización en tres dimensiones, devolviendo al cirujano la perspectiva y la sensación de "estar dentro del campo operatorio", todo lo cual es característico de la **cirugía abierta o convencional**, sin embargo todo ello es realizado a través de pequeñas incisiones, lo que es típico de la cirugía laparoscópica o **de acceso mínimamente invasivo**.

No obstante, actualmente existen todavía importantes aspectos por resolver y mejorar, siendo los más destacados la falta de sistemas eficaces de retroalimentación del sentido del tacto y de la fuerza; el gran peso y el voluminoso tamaño; la mayor duración de las intervenciones debida tanto al propio acto quirúrgico como a la preparación del

robot y de los equipos periféricos; el elevado coste, tanto inicial como el derivado del mantenimiento y de la necesaria actualización de estos sistemas robóticos.

Sin embargo, se considera que estos inconvenientes en un futuro serán corregidos y superados, tanto con la creciente aceptación y consiguiente difusión y venta de los robots quirúrgicos, como con la mejora de la tecnología, aunque la evolución del coste permanece dentro del terreno de la especulación y conjetura ya que no se sabe si, con el paso del tiempo, el precio bajará o subirá. Para unos las mejoras tecnológicas harán que disminuya. Para otros las mejoras tecnológicas como la retroalimentación táctil, el aumento de la velocidad de procesamiento y el desarrollo de un software más capaz y más complejo, harán precisamente que se eleve, al menos inicialmente.

SISTEMA ROBÓTICO QUIRÚRGICO “ZEUS”

La empresa “[Computer Motion](#)” ha desarrollado una extensa línea de sistemas robóticos quirúrgicos, entre los que se encuentra el “[Sistema robótico quirúrgico Zeus](#)” para procedimientos mínimamente invasivos.

El sistema robótico ZEUS se desarrolló inicialmente en 1995 para microcirugía endoscópica. Posteriormente fue rápidamente evidenciado que este sistema podía ser empleado eficazmente en una amplia variedad de disciplinas quirúrgicas incluyendo la cirugía general, cirugía torácica, cirugía ginecológica, cirugía urológica, etc.

El sistema robótico ZEUS, similar al sistema Da VINCI, consta de 3 brazos robóticos interactivos colocados en la mesa de operaciones, un sistema de control computerizado y una consola ergonómica para el cirujano. Uno de los brazos robóticos es utilizado para posicionar el endoscopio que proporciona la visualización del campo operatorio. Los otros 2 brazos robóticos manipulan los instrumentos quirúrgicos bajo el control del cirujano. El cirujano sentado en la consola puede observar el campo operatorio bien en 2 o en 3 dimensiones. El cirujano controla los movimientos del sistema endoscópico mediante [comandos de voz](#) ya que la cámara es manejada por un brazo de tipo AESOP. Los movimientos del instrumental quirúrgico son controlados por “manipuladores” en la consola, que parecen instrumentos quirúrgicos convencionales.

El sistema ZEUS está constituido pues por dos subsistemas físicamente separados entre sí, llamados “[terminal del cirujano](#)” y “[terminal del paciente](#)”. El subsistema del cirujano tiene la consola que recibe las instrucciones del cirujano; el subsistema del paciente contiene dos brazos robóticos que traducen las instrucciones del cirujano en movimientos de los instrumentos que contienen. Existe otro brazo robótico que controla la cámara endoscópica. Se pueden acoplar una gran variedad de instrumentos quirúrgicos a los brazos robóticos.

VENTAJAS DE LA CIRUGÍA ASISTIDA MEDIANTE ROBOT

Intentan superar muchos de los obstáculos de la cirugía laparoscópica.

- Aumenta la destreza
 - Aumenta los grados de libertad aumentando la posibilidad de manejar instrumentos y por tanto los tejidos.
 - Mejora del sentido del tacto y de la resistencia de los tejidos por un mecanismo de retroalimentación sensorial.
 - El temblor quirúrgico normal de la mano del cirujano desaparece y permite así una estabilidad y precisión 10 a 20 veces más exacta que la mano humana.
 - Existen los movimientos escalados: amplios movimientos en los mandos se transforman en micro movimientos dentro del paciente. En cirugía de retina, este sistema modifica el movimiento de la mano en proporciones de cien veces, así que un movimiento de 1mm de la mano, se convierte en un movimiento de 10 micrones del bisturí de láser.
 - El instrumental es más pequeño, aumentando pues la posibilidad de movimientos. Además el tamaño es muy importante en cirugía pediátrica.
- Restaura la coordinación ojo-manos, eliminando el *efecto fulcrum* haciendo la manipulación instrumental más intuitiva.
- Posición ergonómica. Se elimina la necesidad del cirujano de retorcerse y girarse en posiciones muy incómodas para mover el instrumental y visualizar el monitor a la vez.
- Mejora la visualización. Existe visión en 3 dimensiones con percepción de la profundidad. Aumento del tamaño y de la resolución de la imagen de modo que, por ejemplo, las venas de diámetro milimétrico pueden observarse tan grandes como lapiceros. La visión magnifica el tamaño de los vasos de la retina al tamaño de un dedo.
- Todas estas ventajas permiten realizar procedimientos muy difíciles técnicamente o incluso imposibles de realizar sin estos sistemas. Se identifica y se manipula fácilmente las estructuras anatómicas y se pueden realizar macro y micro anastomosis.

DESVENTAJAS DE LA CIRUGÍA ASISTIDA MEDIANTE ROBOT

- Es una nueva tecnología no completamente bien establecida en el momento

actual.

- Muchos procedimientos deberían rediseñarse para optimizar el uso de robots.
- Actualmente la duración de las intervenciones asistidas por robot es superior que con sistemas laparoscópicos convencionales.
- Curva de aprendizaje, no solo para cirujanos sino para el resto del personal de quirófano.
- Coste de los sistemas.
- Tamaño de los sistemas robóticos en quirófanos muy llenos de gente. Habría que rediseñar los quirófanos lo que supondría un coste añadido al de estos sistemas.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Ballantyne, G.H.; Moll, F. 2003. The Da Vinci telerobotic surgical system: the virtual operative field and telepresence surgery. *Surg Clin N Am*, 83:1293-1304.
- Bellamy, R.F. 1984. The causes of death in conventional land warfare: implications for combat casualty care research. *Mil Med*, 149:55-63.
- Brooks, R.A. 1991. Robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Robot Auto*, 2:14-23.
- Clearcy, K.; Nguyen, C.H. 2001. State of the art in surgical robotics: Clinical applications and Technology Challenges. *Computer Aided Surgery*, 6:312-28.
- Davies, B.L.; Hibberd, R.D.; Timoney, A.G.; Wickham, J.E.A. 1995. A clinically applied robot for prostatectomies. In "Computer-Integrated Surgery", Taylor, R.H.; Lavalley, S.; Burdea, G.C.; Mosges, R. Eds. MIT Press, pag. 593-601.
- Galvani, C.; Horgan, S. 2005. Robots en cirugía general: presente y futuro. *Cir Esp*, 78:138-47.
- Lanfranco, A.R.; Castellanos, A.E.; Desai, J.P.; Meyers, W.C. 2004. Robotic surgery. A current perspective. *Ann Surg*, 239:14-21.
- Marescaux, J.; Rubino, F. 2003. The Zeus robotic system: experimental and clinical applications. *Surg Clin N Am*, 83:1305-15.
- Martínez Ramos, C. 2006. Robótica y cirugía laparoscópica. *Cir Esp*, 80:189-94.
- Martínez-Ramos, C. 2008. Robótica y medicina. *Med Clin (Barc)*, 130:136- 138.

Nogler, M.; Polikeit, A.; Wimmer, C.; Bruckner, A. Et al. 2004. Primary stability of a Robodoc implanted anatomical stem versus manual implantation. Clin Biomech (Bristol, Avon), 19:123-9.

Sackier, J.M.; Wang, Y. 1994. Robotically assisted laparoscopic surgery. From concept to development. Surg Endosc, 8:63 –6.

Satava, R.M. 1997. Virtual reality and telepresence for military medicine. Ann Acad Med Singapore, 26:118-20.

Satava, R.M. 1999. Emerging technologies for surgery in the 21st century. Arch Surg, 134:1197-1202.

Timothy, A.G. 1991. Use of robots in surgery: development of a frame for prostatectomy. Urology, 5:165-68.

Recibido: 30 junio 2009.

Aceptado: 11 julio 2009.