

CONTRIBUCIONESPECIAL

Sistemas quirúrgicos robóticos y telerobóticos para cirugía abdominal

Alfredo Córdova Dupeyrat* & Garth H. Ballantyne#

RESUMEN

La Administración Federal de Drogas de los Estados Unidos (FDA), ha aprobado cuatro sistemas robóticos quirúrgicos para su uso en operaciones de laparoscopia clínica. El propósito del presente artículo es describir, estos cuatro sistemas robóticos quirúrgicos. En la cirugía robótica laparoscópica, AESOP y Endoassist reemplazan al camarógrafo y proveen una plataforma estable al telescopio de video. AESOP es controlado mediante comandos de voz por el cirujano, mientras Endoassist responde a los movimientos de una luz infrarroja adherida a la cabeza de este. Durante las operaciones laparoscópicas telerobóticas, el cirujano se ubica sentado frente a una consola de computadora que se encuentra distante al paciente. El cirujano observa un campo operatorio virtual en tres dimensiones y realiza la operación controlando dos brazos telerobóticos, los cuales sostienen los instrumentos quirúrgicos. Estos instrumentos simulan los movimientos de las manos del cirujano, presentando seis grados de libertad y dos de rotación axial. La combinación de imágenes tridimensionales y movimientos semejantes a los manuales de los instrumentos quirúrgicos facilita la realización de procedimientos laparoscópicos complejos. La FDA autorizó al sistema de cirugía telerobótica Da Vinci, a actuar como cirujano operador en Junio del 2000, mientras que en el caso de Zeus únicamente lo autorizó a desempeñarse como asistente quirúrgico durante operaciones laparoscópicas recién en octubre del 2001. Como resultado, cirujanos han reportado gran experiencia clínica con Da Vinci. La cirugía telerobótica laparoscópica abdominal es factible y sus resultados iniciales son similares a los de la cirugía laparoscópica tradicional. Los sistemas quirúrgicos robóticos y telerobóticos superan algunas de las limitaciones inherentes de la cirugía laparoscópica tradicional y podrían incrementar el número de cirujanos que realicen operaciones complejas de laparoscopia en el futuro.

PALABRAS CLAVE: Robótica; Cirugía Robótica; Cirugía Telerobótica; Telemedicina.

* Hospital Nacional Arzobispo Loayza. Facultad de Medicina Humana USMP. Lima, Perú
Minimally Invasive & Telerobotic Surgery Institute. Hackensack University Medical Center. Hackensack, New Jersey, USA

SUMMARY

The United States Food and Drug Administration (FDA) has approved four robotic surgical systems to be used in operations of clinical laparoscopy. The purpose of this article is to describe these four robotic surgical systems. In robotic laparoscopy surgery, AESOP and Endoassist replace the cameraman and provide a stable platform for the video telescope. AESOP is controlled by the surgeon's voice commands, whereas Endoassist responds to the movements of an infrared light adhered to the surgeon's head.

During the telerobotic laparoscopic surgeries, the physician is seated in front of a computer console that is at a distance from the patient. The surgeon observes a virtual three-dimensional operating area and carries out the operation by controlling two tele-robotic arms, both of which hold the surgical instruments. These telerobotic arms simulate the movements of the surgeon's hands, with six degrees of freedom and two degrees of axial rotation. By combining the three-dimensional images and the movements which are similar to the manual movements of the surgical instruments, the complex laparoscopic procedures are facilitated. In June 2000, the telerobotic surgical system Da Vinci was authorized by the FDA to act as an operating surgeon, but in October 2001, in the case of Zeus, it was only authorized to act as an assistant surgeon during laparoscopies. Consequently, surgeons have reported great clinical experiences with Da Vinci. Tele-robotic, laparoscopic abdominal surgery is feasible, and its initial results are similar to those obtained from traditional laparoscopic surgery. Therefore, the tele-robotic and robotic surgical systems overcome some of the limitations inherent in traditional laparoscopic surgeries and they could increase the number of surgeons who could perform complex laparoscopies in the future.

KEY WORDS: Robots; Robotic, Telerobotic; Robotic Surgery; Telerobotic Surgery; Tele-presence; Tele-medicine.

INTRODUCCIÓN

La Administración Federal de Drogas de los Estados Unidos (FDA), ha aprobado cuatro sistemas robóticos quirúrgicos para uso clínico durante operaciones abdominales dentro del territorio estadounidense. Estos son: Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (AESOP) (Computer Motion Incorporated, Santa Barbara, California), Endoassist (Armstrong Health Limited, High Wycombe, Reino Unido), Da Vinci (Intuitive Surgical, Mountain View, California) y Zeus (Computer Motion Incorporated, Santa Barbara, California). Durante la cirugía, el sistema robótico quirúrgico desempeña las funciones de uno de los asistentes quirúrgicos. El cirujano permanece al lado de la mesa quirúrgica y opera directamente sobre el paciente utilizando instrumentos tradicionales de la laparoscopia. AESOP y Endoassist son sistemas quirúrgicos robóticos que reemplazan al camarógrafo y sostienen el telescopio de video durante las cirugías laparoscópicas. En contraste, durante la cirugía telerobótica, el telerobots sostiene al camarógrafo y además realiza la operación mediante dos o más brazos robóticos. El cirujano se sienta a una distancia del paciente y controla los movimientos de los brazos e instrumentos quirúrgicos telerobóticos a través de la interfase de una computadora.

En el presente artículo, presentaremos el desarrollo o histórico de la cirugía robótica y

telerobótica. Asimismo, repasaremos el actual estado de estos sistemas quirúrgicos durante su uso en operaciones abdominales. Además, describiremos cada uno de los sistemas quirúrgicos robóticos y telerobóticos aprobados por la FDA destacando sus características particulares, diferencias y limitaciones.

CIRUGÍA ROBÓTICA

El primer robot clínicamente exitoso, llamado "Robodoc," fue introducido en un reemplazo total de cadera². Cirujanos generalistas inicialmente pusieron su atención en reemplazar al camarógrafo con un robot controlado por un cirujano. En 1993, en la Universidad de California en Davis, Moran describió un sujetador de cámara controlado neumáticamente y regulado pasivamente en forma electrónica³. Buess y colegas en Tubingen, Alemania desarrollaron un prototipo de camarógrafo robótico considerado el "FIPS Endoarm"⁴. Este brazo robótico era controlado a distancia mediante un "anillo" para el dedo que se encontraba adherido a uno de los instrumentos del cirujano. Este se movilizaba presentando cuatro grados de libertad, mientras conservaba un punto fijo de movimiento forzado. AESOP es el primer sistema quirúrgico robótico en ser usado rutinariamente en cirugía laparoscópica.

AESOP

El primer robot en ser aprobado por la FDA para uso clínico en abdomen es AESOP, el cual es fabricado por Computer Motion Incorporated de Santa Barbara, CA. La aprobación de la FDA fue otorgada en 1994. Computer Motion fue inicialmente fundada con una concesión para investigación de la NASA con el fin de desarrollar un brazo robótico para el programa espacial de los Estados Unidos. Posteriormente, este brazo fue modificado para sostener un laparoscopio y reemplazar al camarógrafo laparoscópico. Un computador rastrea la posición del apuntador del telescopio. Cuando AESOP recibe instrucciones, el cirujano controla el brazo robótico y se mueve manualmente a distancia a través de un panel de control manual.^{5,6} Generaciones más recientes de AESOP obedecen a comandos de voz.⁸ El robot se sujeta a un tablero de mesa quirúrgica. Este es liviano y puede ser levantado con facilidad. Sin embargo, se provee un coche que facilita el transporte del robot. Cuenta con una serie de adaptadores que pueden sujetar cualquier laparoscopio rígido. Esto permite al cirujano variar entre telescopios de 3 mm, 5 mm, y 10 mm, así como entre varios telescopios angulados.

El cirujano cuenta con un micrófono y controla los movimientos del telescopio con comandos específicos de voz al robot (FIGURA 1). Él graba estos comandos de voz en una tarjeta de sonido. Cada cirujano requiere una tarjeta de sonido personalizada. El algoritmo del computador que identifica el patrón de voz propio del cirujano es propiedad y está patentado por Computer Motion. El cirujano verbalmente puede programar tres posiciones para el telescopio y posteriormente ordenar al robot a regresar a estas posiciones preestablecidas. Esto facilita maniobras repetitivas como suturas. El cirujano verbalmente retira el telescopio por ejemplo para ofrecer una vista panorámica cuando se introduce la sutura. El zoom del acámaro se acerca a una segunda posición preestablecida mientras se inserta la sutura y luego se mueve más hacia adentro para una vista cercana cuando el nudo es amarrado y ajustado. Tres comandos de voz simples regresan el telescopio a cada una de estas tres posiciones.

AESOP cuenta con una serie de sistemas del libre que ayudan a proteger al paciente. Al inicio de la cirugía, el cirujano fija un margen inferior límite para el brazo robótico de AESOP. Esto previene al brazo robótico de herir al paciente durante la operación. Indúcese, pequeñas presiones sobre el apuntador del telescopio apartan la computadora magnética que une el telescopio a AESOP. Esto evita comandos inadvertidos por parte del cirujano al conducir el telescopio a través de estructuras anatómicas, como el hígado.

AESOP provee una plataforma estable para el acámaro. El robot no es distraído por los ruidos de las teléfónicas y no se aburre con la operación. Mas aun, el brazo de AESOP no se cansa. Como resultado, la imagen de video no tiembla y no tiende a perderse fuera del campo operatorio. Por ejemplo, grupos en Antwerp, Bélgica y Catania, Italia han hallado a AESOP de gran ayuda en la realización de adrenal ectomías laparoscópicas.¹⁰ Ambos grupos hallaron que una plataforma estable para el acámaro proporciona una imagen de video estable y constante al facilitar la operación. Ade-

más, AESOP recuerda donde se ubica el horizonte y permanece orientado adecuadamente, mientras se desliza a distintas ocasiones. Tanto la imagen estable así como la reducción constante con el horizonte minimizan la "enfermedad del movimiento" en el equipo operatorio.

AESOP facilita la realización de procedimientos laparoscópicos de cirugía general de "cirujanos solitarios". Geis y colegas emplearon a AESOP para realizar 24 reparaciones de hernia inguinal, colicistectomías y fundoplicaturas de Nissen con actuaciones solitarias del cirujano.¹¹ Todos los procedimientos se llevaron a cabo exitosamente sin la colaboración de ningún asistente quirúrgico. Nosotros recientemente hemos documentado la habilidad de AESOP para facilitar colicistomías laparoscópicas con "cirujanos solitarios".¹² Comparamos a los cirujanos solitarios laparoscópicos asistidos por el robot realizadas en el 2000 con once colicistomías laparoscópicas tradicionales llevadas a cabo el año previo. Todas las operaciones fueron hechas en casos benignos, hallando que no existió diferencia en los tiempos operatorios entre los dos grupos. Once de las operaciones asistidas por el robot, se realizaron por un "cirujano solitario" haciendo uso de una técnica de tres trocans y sin la ayuda de un asistente quirúrgico. La razón más común para añadir un trocar adicional fue la necesidad del acceso de hernias de cirugía abdominal espesas. Estos dos estudios indican que AESOP puede sustituir adecuadamente a un camarógrafo humano en procedimientos laparoscópicos de cirugía general. Indúcese, estos estudios hallaron que el cirujano puede frecuentemente lograr operaciones laparoscópicas gastrointestinales y de hernias por sí solo sin la colaboración de un cirujano asistente.

AESOP ha impactado exitosamente al área quirúrgica de asistencia robótica. Confiablemente puede reemplazar a un camarógrafo humano proporcionando una plataforma estable para el acámaro al acámaro al acámaro frecuentemente a corta distancia del cirujano y aparentemente disminuye el riesgo de "enfermedad del movimiento" en el equipo operatorio. Cirujanos experimentados pueden hacer uso de AESOP para realizar cirugías laparoscópicas solitarias sin un camarógrafo asistente quirúrgico. En el hospital es AESOP puede ofrecer ventajas económicas al disminuir el número de empleados hospitalarios requeridos para asistir en operaciones laparoscópicas.

ENDOASSIST

Una compañía británica, Armstrong Healthcare Ltd, ha introducido al mercado un camarógrafo robótico llamado "Endoassist".^{13,14} La FDA recientemente ha autorizado el uso de Endoassist dentro de los Estados Unidos. Desafortunadamente, muy pocos lo que se ha publicado acerca de él hasta la fecha. El cirujano controla el movimiento con su cabeza (FIGURA 2), usando en su frente un dispositivo que emite rayos infrarrojos. El cirujano apunta el rayo al punto en el monitor de video que desea observar. El robot mueve a la vista del acámaro a esa posición. Este sistema ofrece algunas ventajas a aquellos cirujanos que pueden encontrar distractivo la constante charla requerida para controlar a AESOP. Esta sujeta a una base separada que es rodada al costado del paciente.

CIRUGÍA TELEROBÓTICA

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos impulsó el desarrollo del teleroobotica con la esperanza de que los cirujanos del futuro pudiesen operar a los soldados heridos en el campo de batalla y a los lugares remotos⁵. Noventa por ciento de todas las muertes de combate ocurren antes de que el soldado herido pueda ser evacuado a un hospital militar o portaviones. Ciertamente pocos soldados fallecen al llegar de haber llegado a estas instalaciones médicas¹⁶⁻¹⁷. Como resultado el objetivo de la cirugía telerobótica era permitir a los cirujanos tratar lesiones amenazantes para la vida, particularmente hemorragias desangrantes en el campo de combate antes de que el soldado muera⁸. En este escenario, un médico tras el soldado herido a una ambulancia blindada en el frente de combate actual cuenta con un sistema quirúrgico robótico. El soldado es puesto debajo de los brazos robóticos. El cirujano se encuentra sentado en un terminal de computadora en el portaviones o en un hospital militar cercano al que controla el sistema quirúrgico robótico. El cirujano ve una reconstrucción virtual del soldado y los vasos sanguíneos con los instrumentos quirúrgicos telerobóticos. La primera cirugía telerobótica fue realizada en 1991¹⁹. Bowersox y colegas fueron los primeros en probar la factibilidad de este concepto para aplicación militar con un prototipo de sistema telerobótico en 1998²⁰.

La cirugía telerobótica o cirugía del teleroesencia es el siguiente paso en el desarrollo de la cirugía robótica²¹. La FDA ha aprobado los sistemas de cirugía telerobótica para uso clínico en los Estados Unidos. Intuitive Surgery (Mountain View, California) fabrica a Da Vinci y Computer Motion Incorporated (Santa Barbara, California) produce a Zeus. En ambos robots, el cirujano se sienta frente a una consola de computadora actual ubicada en un lugar distante al paciente. Actualmente la FDA del igual cirujano permanecer en la misma sala de operaciones que el paciente. El campo operatorio es proyectado por sistemas de imagen tridimensional. El cirujano representa al móvil robótico a través de la consola de la computadora que traduce los movimientos del asmano del cirujano a movimientos de los instrumentos quirúrgicos telerobóticos. Estos funcionan con terminal es articulares que se mueven sincrónicamente con los movimientos del asmano del cirujano a través de brazos aparoscópicos complica así tal como suturar.

Da VINCI

La FDA autorizó a Da Vinci para uso clínico en cirugías abdominales el 4 de junio del 2000. Da Vinci consta de tres partes separadas (FIGURA 3). El cirujano se sienta frente a una consola o estación de trabajo (FIGURA 3). Sus manos se acomodan a los "masters" que actúan como interfase con la computadora (FIGURA 4). El cirujano se sienta en una posición conveniente y ergonómicamente cómoda. La computadora y el sistema de imagen 3D ocupan el resto de la consola. Una torre contiene el equipo electrónico de video y el insufiador para el neumoperitoneo. El robot cuenta con tres brazos (FIGURA 5). El brazo central sujeta la cámara, mientras los otros brazos laterales sostienen los instrumentos quirúrgicos. Estos a su vez se articulan en una "muñeca", móvil i-

zando seis grados de libertad y dos grados de rotación axial. Los brazos robóticos son móviles al costado de la mesa quirúrgica. La computadora sigue el curso de la ubicación tridimensional de un punto cercano al punto de trocar, mas no al punto de los instrumentos quirúrgicos. El teleroesopista pasa por un trocar de 12mm y los instrumentos quirúrgicos a través de trocadores de 8mm. En los Estados Unidos, los instrumentos quirúrgicos son parcialmente reusable y pueden ser utilizados hasta en diez ocasiones. La computadora del teleroobot lleva el registro del número de usos de cada instrumento y no operará en ninguno de estos posterior al décimo uso.

Da Vinci se van a gloria de contar con un verdadero sistema de imagen tridimensional que se asemeja bastante a mirar a través de binoculares de campo. El teleroesopista para este sistema es de 12mm de diámetro y contiene dos teleroesopios separados de 5mm cada uno. Dos cámaras de video de 3 chips se les difunden la imagen a dos pantallas CRT distintas. Un sincronizador mantiene a las imágenes de las cámaras en conjunto. Espejos reflejan las imágenes desde las pantallas CRT hasta el mirador binocular en la consola del cirujano. En este sistema, las imágenes de la derecha y de la izquierda permanecen separadas desde el teleroesopista hasta el ojo del cirujano. El ojo derecho ve la imagen derecha y el ojo izquierdo ve la imagen izquierda tal como en los binoculares.

La consola del cirujano de Da Vinci genera un campo operatorio virtual. La cabeza está diseñada como para que el cirujano se sumerja dentro del campo operatorio. Esto produce teleroesencia y la percepción de que uno se encuentra dentro del campo operatorio virtual²². Esto puede mejorar la percepción de un cirujano de una compleja anatomía tridimensional y ayudarlo a orientarse dentro del campo operatorio. Sin embargo, hay una tendencia del cirujano a escapar del verdadero ambiente de la sala de operaciones. La consola tiende a impedir la conversación, por ejemplo, con el equipo operatorio.

Nosotros recientemente hemos revisado los resultados clínicos de cirugía telerobótica en otros lugares²⁴. Cadliere y colegas reportaron la primera ejecución exitosa del sistema de cirugía telerobótica Da Vinci en marzo de 1997 cuando realizó una colicistomía aparoscópica²⁵. Cadliere también reportó el uso exitoso de este sistema para un bypass gástrico con la aparoscopia telerobótica²⁶, fundoplicatura de Nissen²⁷ y reanastomosis de la trompa de Falopio²⁸. Aproximadamente setenta y seis operaciones telerobóticas gastrointestinales han sido reportadas con el sistema robótico quirúrgico Da Vinci^{29-30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38}. La operación más comúnmente reportada fue la fundoplicatura de Nissen con treinta y ocho casos y la segunda más común fue la colicistomía con veinte. Otras operaciones incluyen esofagectomías, gastrectomías, pancreatectomías distales, miotomías de Séler y colicectomías. La mayoría de estos casos fueron presentados en la Sociedad Americana de Cirujanos Gastrointestinales (SAGES) en abril del 2001. Estos reportes indican que la cirugía telerobótica gastrointestinal podría ser realizada de forma segura.

Nosotros hemos examinado el impacto de Da Vinci en

La duración del ascot ecistectomías laparoscópicas⁹. Comparamos veinticinco pacientes que fueron intervenidos con una col ecistectomía laparoscópica asistida con AESOP y veinticinco col ecistectomías laparoscópicas asistidas con Da Vinci. Ambos grupos eran similares en edad, sexo, índice de masa corporal (IMC), e indicación para cirugía. No hubo muertes ni conversiones en uno u otro grupo. Hubo dos infecciones de herida operatoria en el grupo de Da Vinci (8%) y una infección de herida operatoria (45%) y un incidente de sangrado en el punto del trocar (45%) en el grupo de AESOP. No existieron diferencias significativas entre los tiempos de estadía postoperatoria, pérdidas sanguíneas o tiempos operatorios, entre ambos grupos. La duración del acirugía desde la incisión hasta la puesta de gas no descendió con experiencia adicional. Tiempo total del ascot de operaciones fue mayor en las operaciones con Da Vinci que en las operaciones con AESOP (154.8 vs. 134.4 minutos, $p > 0.05$ por ANOVA) pero esta aparente diferencia de tiempos desapareció una vez que el equipo del ascot quirúrgico real izó junto nueve operaciones tel errobótica. Este estudio halló que las operaciones con Da Vinci no requieren un tiempo total de ascot de operaciones significativamente mayor que las operaciones con AESOP. Mas aun, las col ecistectomías laparoscópicas tel errobóticas laparoscópicas agrupan los mismos resultados clínicos.

El diseño actual de Da Vinci genera varias imitaciones. La alta y gran pesade sus componentes hace difícil trasladar a Da Vinci de una sala de operaciones a otra. Sin embargo, nosotros somos capaces de mover nuestro Da Vinci de la sala de operaciones cardiovascular al ascot de laparoscopia con únicamente menores inconvenientes. Los brazos tel errobóticos son sujetos separados y no se acoplan a las de operaciones. Esto quiere decir que los brazos tel errobóticos deben ser apartados del paciente cuando se desee cambiar la posición de este. Esto no representa un problema en operaciones tal es como col ecistectomías o fundoplicaturas de Nissen en las que el paciente es raramente reacomodado. Sin embargo durante col ecistomías esto suma al gasto de tiempo al procedimiento. En estos casos nosotros tratamos de mover la pel visyel col onizquierdo con el paciente en una posición y luego lo reacomodamos para la movilización del afli exura espénica. Esto limita el número de veces que los brazos tel errobóticos son sujetos y sujetos al paciente, acot erando el procedimiento.

ZEUS

Tecnología similar ha sido desarrollada por Computer Motion, los fabricantes de AESOP, y comercializada bajo el nombre de Zeus. Computer Motion usa a AESOP como la base para la creación de un robot capaz de realizar cirugía tel errobótica. En este sistema, el robot de comandos de voz AESOP, continúa sujetando la cámara. Dos unidades adicionales es semejantes a AESOP han sido modificadas para sostener los instrumentos quirúrgicos (FIGURA 6). Estas tres unidades son independientemente acopladas en la mesa de la sala de operaciones (FIGURA 7). Una computadora dentro de la consola del cirujano controla los tres brazos. Esta leval rastros de la posición tridimensional del apunte de cada instrumento y de la cámara mas no de la posición del trocar

como en el caso de Da Vinci. En modo de preview, el cirujano controla los instrumentos laparoscópicos con mangos similares al ascot de los instrumentos de laparoscopia tradicional. La computadora traduce los movimientos de estos manubrios a movimientos idénticos en los instrumentos quirúrgicos del robot. La versión más reciente de Zeus utiliza una interfase más ergonómica entre el cirujano y los instrumentos robóticos (FIGURA 8). Estos manubrios controlan los instrumentos quirúrgicos que se articulan en la punta del robot. El cirujano sienta en un cómodo asiento frente al monitor de video. La computadora elimina los temblores de cansancio del cirujano y puede ser programada para evaluar los movimientos de las manos de éste en escalas en rangos que fluctúan entre 21 hasta 101.

En Zeus, el cirujano observa la operación con un sistema de imágenes tridimensional de Storz (Karl Storz Endoscopy of North America, Santa Barbara, CA). El brazo robótico que controla la cámara es operado a través de comandos de voz por el cirujano. Este sistema de imágenes tridimensional acot erando el rango de resolución del sistema de video. Cámaras de video separadas, derecha e izquierda, visualizan el campo operatorio. Cada una radiodifunde en una frecuencia de 30 cuadros por segundo. Una computadora incorpora y acot erando esto a una frecuencia de radiodifusión de 60 cuadros por segundo. Ester radiodifusor al ternos cuadros de cámaras de videos derecha e izquierda. El monitor de video presenta una matriz activa o brien de sus superficies actuales al ternos entre un filtro polarizante que sigue el sentido del agujero del ojo y otra que va en sentido inverso. El primer filtro sincroniza con el cuadro de video derecho y el otro coincide con la imagen de video izquierdo. El cirujano utiliza lentes que presentan un filtro polarizante de sentido horario como el de derecho y un filtro polarizante anti horario como el de izquierdo. Esto permite al ojo izquierdo ver únicamente la imagen de video de la cámara izquierda y al ojo derecho la imagen de video de la cámara derecha. Esto hace posible el proyección de una imagen en tres dimensiones desde el monitor de video.

La consola del cirujano de Zeus hace frente a diferentes objetivos filosóficos que aquellos de Da Vinci (FIGURA 6). Este no es esfuerzo para lograr una tel e inmersión, mas intenta presentar al cirujano un ambiente operatorio que deriva directamente de la cirugía laparoscópica tradicional. El cirujano observa la proyección de la imagen en tres dimensiones en un monitor de video estándar. El asiento cómodamente en una silla comunicándose con el camarógrafo con su voz. Así mismo, este controla los instrumentos quirúrgicos de manera similar a la cirugía laparoscópica. Efectivamente, versiones anteriores de la consola utilizaban mangos de instrumentos laparoscópicos estándar como la interfase entre el cirujano y la computadora. La introducción de movimientos semejantes al manual es desde los instrumentos requirió la evolución de los manubrios, haciéndose evidente la diferencia de los instrumentos quirúrgicos tradicionales. Este tipo de consola mantiene mejor contacto entre el cirujano y el equipo operatorio, pero no genera el mismo sentido de inmersión dentro del campo operatorio virtual que el de la consola de Da Vinci.

La configuración del brazo tel errobótico de Zeus ofrece una ventaja distinta para cirugías abdominales complejas (F-



FIGURA 1: Colectomía robótica izquierda por "cirujano solitario". El cirujano utiliza un micrófono para poder controlar a AESOP. El robot AESOP reemplaza al camarógrafo laparoscópico y provee una plataforma estable para el telescopio de video. En esta operación, el cirujano solitariamente realizó una colectomía izquierda haciendo uso de una técnica de tres trocares.



FIGURA 2: Endoassist reemplaza al camarógrafo. El cirujano controla los movimientos del robot a través de una luz infrarroja adherida a su cabeza. El robot no está sujeto a la mesa operatoria, en lugar se para sobre una base separada. El robot se sitúa a lado del paciente y opuesto al cirujano. En esta fotografía, el cirujano realiza solitariamente una colecistectomía laparoscópica con el apoyo de Endoassist y una enfermera asistente. (Fotografía cortesía de Armstrong Health Limited, High Wycombe, Reino Unido)

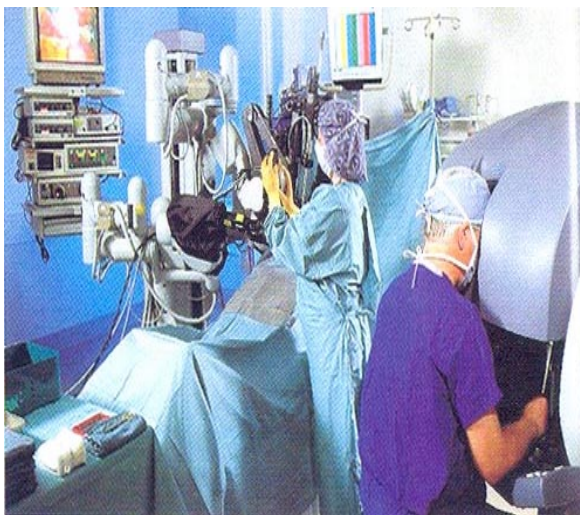


FIGURA 3: El sistema quirúrgico telerobótico Da Vinci. El cirujano se sienta frente a una consola de computadora y observa la operación a través de binoculares que proyectan un campo operatorio virtual. El cirujano pone sus manos sobre los "masters," los que traducen las mociones de sus manos a movimientos en los instrumentos quirúrgicos telerobóticos. Una torre sostiene los tres brazos del robot desde el lado derecho del paciente. Un asistente quirúrgico intercambia los instrumentos quirúrgicos según la necesidad.



FIGURA 4: En Da Vinci, el cirujano se sienta frente a una consola de computadora. Él pone sus manos en estos "master," que traducen las mociones de las manos del cirujano en movimientos de los instrumentos quirúrgicos telerobóticos.



FIGURA 5: El sistema quirúrgico telerobótico Da Vinci sostiene un telescopio stereo-óptico de 12 mm y dos instrumentos quirúrgicos. El telescopio teledifunde una imagen tridimensional del campo operatorio. Los instrumentos simulan los movimientos de las manos del cirujano. Ellos se mueven en 6 grados de libertad y 2 grados de rotación axial.

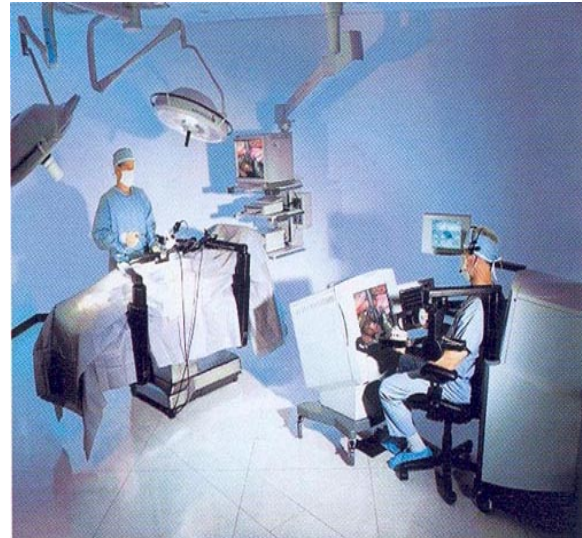


FIGURA 6: El sistema robótico telequirúrgico Zeus. El cirujano se sienta frente a una consola de computadora. Una imagen de video tridimensional es proyectada desde el monitor de video. El cirujano controla los movimientos de los instrumentos telerobóticos a través de mociones de sus manos. Tres brazos robóticos separados se sujetan directamente a la mesa operatoria. Un asistente intercambia los instrumentos quirúrgicos según la necesidad. (Fotografía cortesía de Computer Motion Incorporated, Santa Barbara, California)



FIGURA 7: Los tres brazos de Zeus se sujetan directamente a la mesa operatoria. Un brazo sostiene la cámara de video y es controlado mediante comandos de voz. Los otros dos brazos sostienen los instrumentos quirúrgicos. (Fotografía cortesía de Celest Hollands, M.D., Louisiana State University Health Sciences Center, Shreveport, Louisiana.)



FIGURA 8: Los manubrios de Zeus traducen las mociones de las manos del cirujano en los movimientos de los instrumentos quirúrgicos. Los instrumentos se mueven en 6 grados de libertad. (Fotografía cortesía de Computer Motion Incorporated, Santa Barbara, California)

GURA 7). Los tres brazos están sujetos directamente a la mesa operatoria. Esto quiere decir que la mesa puede ser reposicionada sin interferir con el adecuado funcionamiento de los brazos robóticos. El paciente puede ser cambiado de la posición de Trendelenburg a Trendelenburg reversa sin la necesidad de acomodar los brazos. Esto facilita la realización de colectomías telerróbticas.

La FDA ha concedido a Zeus únicamente una aprobación limitada para operaciones abdominales. Puede ser usado como cámara y asistente operatorio pero todavía no como cirujano operador. Existe experiencia clínica limitada respecto a Zeus en los Estados Unidos. Esta restricción no hace efectiva en los demás lugares. Marescaux y colegas del Instituto Europeo de Telcirugía recientemente reportaron la prueba clínica más grande con Zeus en cirugía abdominal⁹. Veinticinco pacientes seleccionados se sometieron a colectomías laparoscópicas asistidas con Zeus. Una operación fue convertida de procedimiento telerróbtico a colectomía laparoscópica estándar. El tiempo medio para instalar y guardar al robot Zeus fue de 18 minutos. El tiempo medio de disección usando a Zeus fue de 25 minutos y el tiempo medio del total del tiempo operatorio fue de 108 minutos. La única complicación en los veinticinco pacientes fue una posible embolia pulmonar, a pesar de que no se halló embolia en la tomografía. El promedio del tiempo de permanencia postoperatoria fue de tres días. Lo cual es similar a colectomías laparoscópicas estándar en Francia. Estos cirujanos remarcan en este reportel as ventajas potenciales de un formato digitalizado para la transferencia de información y el espectro de cirugía robótica sobre el arga distancia.

Recientemente, Zeus fue utilizado para la cirugía de telerrobótica en un paciente con un tumor de 300 milímetros de diámetro⁸. El profesor Marescaux sentado frente a la consola de Zeus en la ciudad de Nueva York realizó una colectomía telerróbtica a un paciente en Strasbourg, Francia⁸. La consola del cirujano estaba conectada directamente al brazo robótico de Zeus a través de un cable de fibra óptica trasatlántico. Esta conexión directa minimizó el retraso de tiempo entre los movimientos del asistente del cirujano y los instrumentos robóticos y la imagen de video de retorno. El uso de satélites para transmitir la señal es digital e introduce una gran distancia y retrasos significativamente recorridos y vueltas de la señal electrónica. Este triunfo quirúrgico probó la realidad de la cirugía telerróbtica y quizás haya abierto una nueva era en la cirugía

REFERENCIAS

1. PAUL H, BARGAR WL, MITTESTADT B, et al. Development of a surgical robot for cementless total hip arthroplasty. *Clin Orthop* 1992; 285: 57-66.
2. TAYLOR RH, JOSKOWICZ L, WILLIAMSON, et al. Computer-integrated revision total hip replacement surgery: concept and preliminary results. *Med Image Anal* 1999; 3: 301-319.
3. MORAN ME. Stationary and automated laparoscopically assisted technologies. *J Laparoendoscopic Surg* 1993; 3: 221-227.
4. AREZZO A, ULMER F, WEISS O, SCHURR MO, HAMAD M, BUESS GF. Experimental trial on solo surgery for minimally invasive therapy: comparison of different systems in a phantom model. *Surg Endosc* 2000; 14: 955-959.
5. SACKIER JM, WANG Y. Robotically assisted laparoscopic surgery. From concept to development. *Surg Endosc* 1994; 8: 63-66.
6. JACOBS LK, SHAYANI V, SACKIER JM. Determination of the learning curve of the AESOP robot. *Surg Endosc* 1997; 11: 54-55.
7. JOHANET H. Voice-controlled robot: s new surgical aide? Thoughts of a user. *Ann Chir* 1998; 52: 918-921.
8. ALLAF ME, JACKMAN SV, SCHULAM PG, CADEDDU JA, LEE BR, MOORE RG, KAVOUSSI LR. Laparoscopic visual field. Voice vs foot pedal interfaces for control of the AESOP robot. *Surg Endosc* 1998; 12: 1415-1418.
9. HUBENS G, YSEBAERT D, VANEERDEWERG W, CHAPELLE T, EYSKENS E. Laparoscopic adrenalectomy with the aid of the AESOP 2000 robot. *Acta Chir Belg* 1999; 99: 125-127.
10. PIAZZA L, CARAGLIANO P, SCARDILLI M, SGROI AV, MARINO G, GIANNONE G. Laparoscopic robot-assisted adrenalectomy and left ovariectomy (case reports). *Chir Ital* 1999; 51: 456-466.
11. GEIS WP, KIM HC, BRENNAN EJ JR, MCAFEE PC, WANG Y. Robotic arm enhancement to accommodate improved efficiency and decreased resource utilization in complex minimally invasive surgery procedures. *Stud Health Technol Inform* 1996; 29: 471-481.
12. BALLANTYNE GH, MEROLA P, WEBER A, WASIELEWSKI A. Robotic solutions to the pitfalls of laparoscopic colectomy. *Ospedali d'Italia Chirurgia* 2001; Sept-Oct (5): (IN PRESS).
13. YAVUZ Y, YSTGAARD B, SKOGVOLL E, MARVIK R. A comparative study evaluating the performance of surgical robots AESOP and Endosista. *Surg Laparosc, Endosc & Percut Tech* 2000; 10: 163-167.
14. AREZZO A, TESTA T, ULMER F, SCHURR MO, DEGREGORI M, BUESS GF. Positioning systems for endoscopic solo surgery. *Minerva Chir* 2000; 55: 635-641.
15. SATAVA RM. Virtual reality, telesurgery, and the new world order of medicine. *J Image Guid Surg* 1995; 1: 12-16.
16. BELLAMY RF, MANINGS PA, VAYER JS. Epidemiology of trauma: military experience. *Ann Emerg Med* 1986; 15: 1384-1388.

17. BELLAMY RF. The causes of death in conventional land warfare: implications for combat casualty care research. *Mil Med* 1984; 149: 55-63.
18. SATAVA RM. Virtual reality and telepresence for military medicine. *Ann Acad Med Singapore* 1997; 26: 118-120.
19. GREEN PE, PIANTANIDA TA, HILL JW, SIMON IB, SATAVA RM. Telepresence: Dexterous procedures in a virtual operating field. *Am Surg* 1991; 57: 192 (Abstract).
20. BOWERSOX JC, CORDTS PR, LAPORTA AJ. Use of an intuitive telemanipulator system for remote trauma surgery: an experimental study. *J Amer Col Surg* 1998; 186: 615-621.
21. SATAVA RM, JONES SB. Preparing surgeons for the 21st Century. *Surg Clin N Amer* 2000; 80: 1353-1365.
22. RININSLAND HH. Basics of robotics and manipulators in endoscopic surgery. *End Surg* 1993; 1: 154-159.
23. BALLANTYNE GH. Robotic surgery, telerobotic surgery, telepresence & telementoring: Results of early clinical experience. *Surg Endosc* (Submitted).
24. BALLANTYNE GH. Robotic surgery, telerobotic surgery, telepresence & telementoring: Results of early clinical experience. *Surg Endosc* (Submitted).
25. HIMPENS J, LEMAN G, CADIERE GB. Telesurgical laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 1998; 12: 1091 (Letter to the Editor).
26. CADIERE GB, HIMPENS J, VERTRUYEN M, FAVRETTI F. The world's first obesity surgery performed by a surgeon at a distance. *Obes Surg* 1999; 9: 206-209.
27. CADIERE GB, HIMPENS J, VERTRUYEN M, BRUYNIS J, FOURTANIER G. Nissen fundoplication done by remotely controlled robotic technician. *Ann Chir* 1999; 53: 137-141.
28. DEGUELDRE M, VANDROMME J, HUONG PT, CADIERE GB. Robotically assisted laparoscopic microsurgical tubal anastomosis: a feasibility study. *Fert Steril* 2000; 74: 1020-1023.
29. HANISCH E, MARKUS B, GUTT C, SCHMANDRA TC, ENCKE A. Robot-assisted laparoscopic cholecystectomy and fundoplication – initial experience with the Da Vinci system. *Chirurg* 2001; 72: 286-288.
30. MEININGER D, BYHAHN C, MARKUS BH, HELLER K, WESTPHAL K. Total endoscopic Nissen fundoplication with the robotic device "Da Vinci" in children. Hemodynamics, gas exchange, and anesthetic management. *Anaesthesist* 2001; 50: 271-275.
31. HASHIZUME M, SUGIMACHI K, SHIMADA M, TOMIKAWA M, et al. Da Vinci-assisted totally endoscopic procedures in the abdominal surgery. *Surg Endosc* 2001; 15: S131 (abstract).
32. CHAPMAN WHH, ALBRECHT RJ, KIM VB, YOUNG JA, NIFONG LW, CHITWOOD WR Jr. Computer enhanced robotically assisted telemanipulative cholecystectomy. *Surg Endosc* 2001; 15: S114 (abstract).
33. YOUNG JA, CHAPMAN WHH, ALBRECHT RJ, KIM VB, NIFONG LW, CHITWOOD WR Jr. Initial patient series with robotic assisted Nissen fundoplication. *Surg Endosc* 2001; 15: S175 (abstract).
34. MELVIN WS, NEEDLEMAN BJ, KRAUSE KR, SCHEIDER C, WOLF RK, MICHLER RE, ELLISON EC. Computer enhanced "robotic" telesurgery: initial experience in foregut surgery. *Surg Endosc* 2001; 15: S148 (abstract).
35. OZAWA S, FURUKAWA T, OHGAMI M, WAKABAYASHI G, KITAJIMA M. Robot-assisted laparoscopic anti-reflux surgery. *Surg Endosc* 2001; 15: S152 (abstract).
36. TALAMINI MA, CAMPBELL K, STANFIELD C, ARE C. Robotic laparoscopic surgery: early lessons learned. *Surg Endosc* 2001; 15: S 165 (abstract).
37. CADIERE GB, HIMPENS J, VERTRUYEN M, BRUYNIS J, GERMANY O, IZIZAW R. Evaluation of telesurgical (robotic) Nissen fundoplication. *Surg Endosc* 2001; 15: 918-923.
38. BALLANTYNE GH, MEROLA S, WEBER P, WASIELEWSKI A. Robotic solutions to the pitfalls of laparoscopic colectomy. *Osp Ital Chir* 2001; 7: (IN PRESS).
39. HOURMONT K, WASIELEWSKI A, DAVIES R, BALLANTYNE GH. Robotic versus telerobotic laparoscopic cholecystectomy: Duration of surgery and outcomes. *Surg Endosc* (submitted).
40. MARESCAUX J, SMITH MK, FOLSCHER D, JAMALI F, MALASSAGNE B, LEROY J. Telerobotic laparoscopic cholecystectomy: Initial clinical experience with 25 patients. *Ann Surg* 2001; 234: 1-7.
41. Remote gallbladder operation spans 3,800 miles. *New York Times*. September 20, 2001.
42. MARESCAUX J, LEROY J, GAGNER M, RUBINO F, MUTTER D, VIX M, BUTNER SE, SMITH MK. Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* 2001; 413: 379-380.
43. LARKIN M. Transatlantic, robot-assisted telesurgery deemed a success. *Lancet* 2001; 358: 1074.