

ASPECTOS ESENCIALES DE LOS SISTEMAS ROBÓTICOS UROLÓGICOS.

Eduardo Sánchez de Badajoz, Adolfo Jiménez Garrido y Víctor Fernando Muñoz Martínez.

Área de Conocimiento de Urología. Departamento de Cirugía. Facultad de Medicina y Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Málaga. Málaga. España.

Resumen.- OBJETIVO: Desde la antigüedad los adelantos en medicina se deben en gran parte a las herramientas utilizadas. Para la cirugía convencional se necesita un instrumental, igual ocurre con la resección transuretral que precisa de un resector, que fue un instrumento muy avanzado para la época en la que se creó. Lo mismo sucede con la ureterorenoscopia o la nefroscopia. La litotricia extracorpórea surgió gracias a la estrecha colaboración entre ingenieros y urólogos, lo que supuso una auténtica revolución en la medicina. La laparoscopia ha dado lugar a una conmoción si cabe mayor, ya que gran parte de nuestra cirugía ha habido que adaptarla a esta nueva técnica.

MÉTODOS: Los grandes avances tecnológicos habidos a principios del siglo XX hicieron pensar que a finales de siglo estos sistemas serían capaces de imitar a la

inteligencia humana, pero al intentar fabricar una mente racional se llegó a la conclusión de que conseguir que estos instrumentos tomaran decisiones suponía un desafío monumental inviable hoy en día. Por ello, ya dentro de la Urología, el intento de crear un robot autónomo para la resección transuretral fracasó, porque la complejidad de un procedimiento quirúrgico requiere un estricto y riguroso control por parte del cirujano. Ello dio lugar a los sistemas maestro-esclavo, como el diseñado por nosotros en 1998 para la resección transuretral, que son simples herramientas, infinitamente más seguras que el robot independiente, que facilitan el trabajo del cirujano pero que no lo sustituyen.

RESULTADOS/CONCLUSIONES: La reiterada polémica de que si los robots van a sustituir al cirujano no tiene sentido, porque de momento son tan sólo simples instrumentos. Los manipuladores existentes hoy en día, al carecer de sensibilidad táctil, tienen una larga curva de aprendizaje. Todo ello hace que por ahora no pocos autores de prestigio desaconsejen su uso. Sin embargo nosotros estamos convencidos de que, antes de que lo imaginemos, lo queramos o no, los robots en cirugía serán instrumentos obligados e imprescindibles y de que su uso se habrá generalizado.

Palabras clave: Robot. Robótica. Urología. Aspectos esenciales. Cirugía. Laparoscopia. Resección transuretral.

Summary.- OBJECTIVES: Most advances in Surgery can now be seen to have been preceded by the invention of new instruments. Conventional surgery progressed as new instruments became available. Transurethral resections became routine following the introduction 80 years ago of the resectoscope: a highly revolutionary instrument at that time. Ureterorenoscopes and nephros-

Correspondencia

Eduardo Sánchez de Badajoz
Strachan, 4 - 2º piso
29015 Málaga. (España).

edusaba@telefonica.net

copies opened new windows of opportunity for urologists. When the therapeutic potential of extracorporeal lithotripsy, was first mentioned in the literature most surgeons thought it was mere science-fiction fantasy. Very soon however, this new technique, the fruit of close collaboration between urologists and engineers, became a common-place reality. Laparoscopy met with similar disbelief and the early applications gave rise to controversy and even consternation, yet only a few years later most of our urological surgical procedures have adopted this technique.

METHODS: At the beginning of the 20th century the astounding advances in engineering led many to forecast that before its end those systems might mimic human intelligence. However, many attempts to construct a rational thinking device revealed that even today this ambitious project was a still an unattainable dream. Consequently, attempts to design an autonomous urological surgical robot that might carry out unsupervised transurethral resections were unfruitful because the inherent and unpredictable complexity of surgical procedures obliges close and rigorous control by the surgeon. This important limitation led to the creation of 'master-slave' systems similar to those designed by our team in 1998 for transurethral resection. These are relatively simple tools and are infinitely safer than autonomous robots because they aim to effectively help the surgeon rather than replace him.

RESULTS/CONCLUSIONS: The oft-repeated argument about whether or not a robot might ever replace the surgeon now has little sense because today it is merely a tool, an instrument for the surgeon's hands. The devices available today lack the all-important tactile feedback and to use them effectively, the surgeon is obliged to serve a new and arduous apprenticeship and the learning curve is unavoidably steep. Consequently, many prestigious authors understandably feel unable to recommend their use. Our accumulated experience with master-slave manipulators stimulates us to confidently predict that sooner than later, whether we like it or not, surgical robots will evolve to become indispensable tools that enhance the surgeon's skill, precision and speed in many surgical procedures.

Keywords: Robot. Robotics. Urology. Essentials. Surgery. Laparoscopy. Transurethral resection.

INTRODUCCIÓN

Hace diez años escribimos un editorial en esta revista titulado "El paso siguiente" donde lamentábamos el desencanto y el desinterés de los urólogos por la laparoscopia (1), técnica que se había iniciado en nuestra especialidad diez años antes y cuando se había descrito no ya la varicoceleotomía (2) o la

linfadenectomía, sino procedimientos tan complejos como la nefrectomía o la cistectomía radical (3). Y sin embargo, por esas fechas, la inmensa mayoría de los urólogos miraban para otro lado e incluso algunos criticaban la técnica.

En realidad estaba pasando lo que ya había sucedido años antes con la resección transuretral, es decir la dificultad era tal y las complicaciones tan numerosas y tan graves, que sencillamente se llegaba a la conclusión de que el procedimiento era inadecuado por el peligro que suponía.

El desencanto y desilusión que teníamos hace una década sobre el porvenir de la laparoscopia afortunadamente se disipó y estamos convencidos de que ha habido un hecho fundamental y decisivo, que ha contribuido a la divulgación y aceptación de la técnica. Se trata de algo tan sencillo y tan obvio como la cirugía manualmente asistida (4,5). Técnica que aunque también tardó en implantarse, ha permitido que los urólogos pierdan el miedo y se familiaricen con la laparoscopia, que a primera vista resultaba prácticamente imposible.

Pero la realidad es que desde los comienzos de la cirugía, los adelantos se deben en gran medida a las herramientas utilizadas. La cirugía abierta o convencional requiere un instrumental. La resección transuretral fue un hecho gracias al resector, un instrumento muy avanzado para la época. Igual sucedió con la ureterorenoscopia o la nefroscopia. La litotricia extracorpórea sólo fue posible gracias a la estrecha colaboración entre ingenieros y urólogos, que dio lugar a la creación de una máquina que supuso una auténtica revolución, no ya en la Urología sino en la Medicina.

La aparición de la laparoscopia en nuestra especialidad ha provocado una conmoción si cabe todavía superior, hasta el extremo de que la mayor parte de nuestra cirugía se ha visto afectada por esta nueva técnica. Dicho con otras palabras, si nos vamos a un tratado de cirugía urológica de hace una década, resulta que en la actualidad casi todo está obsoleto, es decir que procedimientos que en ocasiones tienen un siglo de existencia y que han estado vigentes hasta ahora, de la noche a la mañana ya son reliquias históricas, inaceptables hoy en día. Por ello resulta necesario más que nunca el desarrollo de nuevas herramientas que nos faciliten el trabajo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El siglo pasado era la época de los grandes traumatismos debidos a las grandes incisiones que

se requerían para acceder al campo operatorio. Por el contrario el siglo XXI está siendo el siglo de las técnicas de mínimo acceso, reduciendo espectacularmente el trauma provocado a los pacientes. Todo esto ha hecho que en los últimos años la Urología sea con mucho la especialidad en la que se han producido los mayores desarrollos tecnológicos, de forma que se puede decir que en esta especialidad se ha pasado de la cirugía abierta a la cirugía mínimamente invasiva y de las técnicas a la tecnología (6).

La laparoscopia ha requerido de nuevos instrumentos que van desde trócares, neumoinflatores, cámaras, ópticas y un largo etcétera. Sin embargo el grado de dificultad que tiene esta cirugía requiere algo más, que la haga asequible a la mayoría de los cirujanos. Es decir se necesitan herramientas avanzadas, o robots, que faciliten la labor del cirujano, cuyos aspectos esenciales, básicos y primordiales describiremos a continuación.

Lo que realmente se pretende es que un robot sea capaz de sustituir a una persona en un trabajo físico o mental. De este modo, el comienzo de la robótica puede datarse durante la revolución industrial, en los siglos XVIII y XIX. El pionero fue el telar automático y programable mediante cintas de papel perforado, desarrollado por el francés Basile Bouchon en 1725. Por otro lado, en 1772 un relojero suizo llamado Pierre Jaquet-Droz diseñó un muñeco, llamado "El escritor", que era capaz de escribir mensajes con la precisión de una mano humana.

Sin embargo, tiene que quedar claro que un robot no sólo es una máquina que realiza movimientos repetitivos previamente programados, sino que además tiene que tener la capacidad de decidir qué acciones emprende ante situaciones imprevistas. Por ello la robótica propiamente dicha nace después de la segunda guerra mundial con el desarrollo de los primeros computadores digitales como el ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) y la aparición de una nueva ciencia interdisciplinaria denominada cibernética formalizada por Norbert Wiener en 1948. Con estos antecedentes, George Charles Devol patenta en 1954 el primer robot industrial programable y dos años más tarde funda la empresa Unimation junto con Joseph F. Engelberger para fabricar y comercializar tales ingenios.

Pero hoy en día la expansión de la robótica se ha visto restringida por dos hechos fundamentales. En primer lugar su aplicación eficaz casi se reduce a la industria, y por otro lado, la euforia inicial sobre las posibilidades de la inteligencia artificial no ha cubierto las expectativas esperadas. En concreto, al intentar fabricar una mente racional, se comprobó

que esto era mucho más complicado de lo que se suponía y que un cerebro humano es infinitamente más inteligente de lo que se creía, por lo que tendrán que pasar décadas o quizá siglos antes de que se pueda crear una máquina con sentido común (7). Por ello, hoy en día los robots nos parecen artífices burdos que trabajan en la industria realizando trabajos repetitivos, monótonos y peligrosos para el ser humano. Sin embargo los avances en las capacidades sensoriales de los robots para percibir y entender el entorno que los rodea y para adaptarse a un mundo voluble e incierto, han hecho que éstos salgan de su ámbito inicial y encuentren su lugar en otras aplicaciones como la robótica espacial, la submarina, la de la construcción y por supuesto la cirugía.

Ya dentro de la cirugía, hoy por hoy es una quimera pensar que uno de estos aparatos puede hacer él solo una operación, ya que todavía el desarrollo de las capacidades sensoriales requeridas se encuentra en un estado embrionario. Sin embargo, toda esta tecnología no ha caído en saco roto, ya que ha dado lugar a herramientas tan interesantes para la cirugía como los simuladores endoscópicos. Un buen simulador puede ser algo trascendental, como lo demuestra el hecho de que a finales de los años 30 y principio de los 40 se creó el primer simulador de vuelo para pilotos, y la mortalidad de los pilotos en condiciones de mala visibilidad se redujo a un 90%. Por esas fechas ya había pilotos que para demostrar su destreza despegaban y aterrizaban a ciegas con una lona que cubría la cabina. De la misma forma ya existen simuladores para cirugía laparoscópica dotados de una gran precisión y que tienen por objeto ayudar a capacitar al cirujano para que pueda abordar todas estas nuevas técnicas quirúrgicas.

Todo este esfuerzo conjunto de la robótica y la medicina también se ha combinado con la nanociencia. La palabra "nano" para los latinos no es muy difícil de entender, ya que significa enano. El problema de la nanociencia es que a esos niveles casi moleculares no se cumplen las leyes de la física ni de la química ni de la biología, es decir no se trata sólo de hacer algo pequeño, sino que además hay que saber esas leyes en gran parte desconocidas. Ya se han creado cadenas tractoras cuyas ruedas tienen un diámetro que es la cien millonésima de metro. O dicho de otra forma diez mil diámetros de una de esas ruedas suman un milímetro. Ya se están empezando a utilizar submarinos microscópicos, que van por la sangre destruyendo los depósitos de grasa y los gérmenes. Algunos de estos micro-submarinos dentro de poco actuarán sobre las células y enviarán datos sobre los receptores o sobre el modo en que son estimuladas por un fármaco.

Ya dentro de la Urología, estos sistemas robóticos, curiosamente, han sufrido una transición inversa desde el robot con capacidad de decisión o autónomo, hasta el robot controlado por las manos del operador o "hands on". Este hecho se debe a los resultados de la experiencia realizada en el Imperial College de Londres con un prototipo de robot cirujano basado en un robot industrial modelo PUMA 560 adaptado. Efectivamente, en 1989 Davies diseñó un resector transuretral que mediante una sonda de ultrasonido transrectal reconstruía las dimensiones prostáticas y a continuación resecaba de forma autónoma y activa una cuña de tejido prostático mientras el cirujano se limitaba a observar la operación (8). Este sistema seguía una trayectoria predefinida y sólo podía trabajar en un área predeterminada. Sin embargo tras operar a varios pacientes, se dieron cuenta de que la naturaleza y complejidad de un procedimiento quirúrgico era incompatible con estos robots autónomos y que era imprescindible el control directo y riguroso por parte del cirujano, por lo que el robot en el sentido estricto del término tuvo que ser desechado de la práctica médica. La realidad es que este fracaso era debido a un error en la filosofía y a las limitaciones sensoriales que hoy por hoy tienen estas máquinas.

Este desencanto inicial con los sistemas autónomos ha tenido como consecuencia que se popularicen los sistemas llamados "maestro esclavo", que al contrario de los robots autónomos, resultan herramientas tecnológicamente más sencillas, ya que se mueven bajo el control estricto del cirujano, sin tener que tomar decisión alguna. Sin embargo se le pueden añadir prestaciones como área de trabajo limitada por temas de seguridad, la transmisión de tacto a la mano del operador y la evitación de movimientos incorrectos. Por todo ello, resultan máquinas infinitamente más seguras que los llamados robots autónomos.

Estos manipuladores "maestro-esclavo" están diseñados para facilitar el trabajo del cirujano, ya que estabilizan la cámara, evitan el temblor, miniaturizan un movimiento, tienen un sistema de muñeca para mover los instrumentos y otras muchas excelencias que se expondrán en otros capítulos de este monográfico. La prostatectomía radical parece ser que se ha afianzado como tratamiento de elección para la mayoría de los casos de cáncer de próstata aparentemente localizado (9); y es la operación en la que con más frecuencia se emplea el robot, hasta el extremo de que su uso ha sido fomentado por urólogos, muy por delante de otros especialistas.

Nosotros, en los Departamentos de Cirugía y de Robótica de nuestra universidad, desde hace

diez años estamos trabajando, fabricando e incluso patentando diversos sistemas robóticos. En 1998 diseñamos el primer brazo maestro-esclavo que se utilizó en Urología, concretamente para la resección transuretral (10,11). Y desde la experiencia que hemos adquirido a lo largo de estos años, creemos que nos toca hacer de abogados del diablo respecto a los robots quirúrgicos actuales (12-17). Y aunque reconocemos sus grandes virtudes, consideramos que tienen de momento también muchas limitaciones y que son muy mejorables.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A la vista de lo descrito en este artículo, no tiene sentido esa reiterada polémica de que si los robots van a sustituir al cirujano, ya que de momento tan sólo son herramientas avanzadas bajo control riguroso del operador, que en definitiva sigue siendo quien verdaderamente ejecuta la intervención y el responsable de lo que se haga bien o de lo que se haga mal.

En la laparoscopia, el cirujano necesita poder palpar y tocar mediante sus instrumentos, es lo que se llama la sensibilidad háptica, "haptic feed back", que a su vez puede utilizarse para sentir qué fuerza se está aplicando sobre un determinado tejido o notar qué textura tiene éste. Sin embargo, hoy en día es un tema en fase de investigación y los manipuladores comerciales existentes prácticamente carecen de este tipo de sensibilidad. Esta capacidad resulta sumamente importante para ciertas maniobras como el anudado, por lo que en un principio hay que tener sumo cuidado para no romper las suturas.

Toda esta nueva tecnología sin duda alguna trae beneficios, pero como contrapartida acarrea una curva de aprendizaje larga y difícil, que hay que añadir a la que ya tiene de por sí la laparoscopia. Buena prueba de las limitaciones que todavía tienen estos robots es que Guilloneau, dicho sea de paso, el inventor de la prostatectomía laparoscópica, afirma que de momento no hay ningún argumento consistente ni fiable que apoye el uso de la prostatectomía asistida mediante robot sobre el abordaje laparoscópico convencional. Y que el costo desorbitado de estas máquinas, debería mejor emplearse en programas de entrenamiento en laparoscopia (18). Tanto es así, que el enorme costo de aproximadamente 1,8 millones de euros, que además va en aumento, no es ni mucho menos proporcional a los beneficios que aporta; como lo demuestra el hecho de que en una reciente encuesta, los urólogos son todavía bastante escépticos en el uso de robots (19).

Aunque a menudo la prensa sensacionalista saca titulares del estilo de "Salvado por un robot", la realidad es bien distinta, ya que como decimos, quien realmente salva al paciente es el cirujano con sus manos (20). Estos titulares en el fondo lo que hacen es revivir y recordar esa ilusión, esa quimera de fabricar una máquina antropomorfa y suprema que nos libere del mal. Buena prueba de ello fue la película "Tobor el grande", Hollywood, 1954, donde un robot bueno salvaba a la chica de los malvados, o algo equivalente pero en versión moderna como es "Terminator".

El ser humano sigue siendo todavía "el centro del universo" tal y como lo representó Leonardo da Vinci dentro de una circunferencia, que significa el cosmos. Y eso sólo ha sido posible gracias a la capacidad que ha tenido de crear una serie de utensilios, que van desde un hacha de sílex hasta un robot, que le han permitido hacerse el amo del mundo, y lo queramos o no, ese progreso en todos los ámbitos es imparable, vertiginoso e irreversible.

BIBLIOGRAFÍA y LECTURAS RECOMENDADAS (*lectura de interés y ** lectura fundamental)

- *1. SÁNCHEZ DE BADAJOZ, E.: "El paso siguiente". Arch. Esp. Urol., 50: 1031, 1997.
2. SÁNCHEZ DE BADAJOZ, E., DIAZ RAMIREZ, F. Y MARIN MARTIN, J. Tratamiento endoscópico del varicocele. Arch. Esp. Urol. 41: 15, 1988.
3. SÁNCHEZ DE BADAJOZ, E., GALLEGO PERALES, J.L., RECHE ROSA-DO, A. y cols. Cistectomía radical y conducto ileal laparoscópico. Arch. Esp. Urol. 46: 621, 1993.
4. SÁNCHEZ DE BADAJOZ, E. GÓMEZ DE LA CRUZ, JIMENEZ GARRIDO y cols. Cirugía vasculorrenal endoscópicamente asistida. Arch. Esp. Urol. 48: 2, 1995.
5. SÁNCHEZ DE BADAJOZ, E. Cirugía laparoscópica manualmente asistida: presente y futuro. Annals d'Urologia. 1: 27, 1995.
6. CLAYMAN, R.V.: "From knife to needle to nothing: The waning of the wound". Braz. J. Urol., 27: 209, 2001.
- *7. SÁNCHEZ DE BADAJOZ, E.: "Robótica y Urología". Arch. Esp. Urol., 51: 215, 1998.
8. DAVIES, B.L.; HIBBERD, R.D.; COPTCOAT, M.J. y cols.: "A surgeon robot prostatectomy. A laboratory evaluation". J. Med. Eng. Technol., 13: 273, 1989.
9. SÁNCHEZ DE BADAJOZ, E., JIMENEZ GARRIDO, E.: Prostatectomía laparoscópica digitalmente asistida. Arch. Esp. Urol. 58: 233, 2005.
- **10. SÁNCHEZ DE BADAJOZ, E.; JIMÉNEZ GARRIDO, A.; MUÑOZ FERNÁNDEZ, V.F.; y cols.: "Resección transuretral mediante control remoto". Arch. Esp. Urol., 51: 445, 1998.
- *11. SÁNCHEZ DE BADAJOZ, E.; JIMÉNEZ GARRIDO, A.; GARCÍA VACAS, F. y cols.: "Nuevo brazo maestro para la resección transuretral mediante robot". Arch. Esp. Urol., 55: 1.247, 2002.
12. JIMÉNEZ GARRIDO, A.; SÁNCHEZ DE BADAJOZ, E.; MUÑOZ FERNÁNDEZ, V.F. y cols.: "Cistoscopia robotizada dirigida mediante la voz". Arch. Esp. Urol., 52: 374, 1999.
13. MUÑOZ, V.F.; VARA-THORBECK, C.; DE GABRIEL, J. y cols.: "A Medical Robotics Assistant for Minimally Invasive Surgery". Proc. of 2004 IEEE Int. Conference on Robotics & Automation. pp 3069-3074, San Francisco, USA, 2000.
14. MUÑOZ, V.F.; I. GARCÍA-MORALES, J.; MORALES y cols. "Adaptive Cartesian Motion Control Approach for a Surgical Robotic Camera". Proc. of IEEE Int. Conference on Robotics & Automation. pp 3069-3074, New Orleans, USA, 2004.
15. MUÑOZ, V.F.; GARCÍA-MORALES, I.; FERNÁNDEZ-LOZANO, J. y cols.: "Risk Analysis for Fail-Safe Architecture Design in Surgical Robotics". ISORA. 10th International Symposium on Robotics and Applications. Seville, Spain. 2004.
16. MUÑOZ, V.F.; GÓMEZ-DE-GABRIEL, J.; GARCÍA-MORALES, I. y cols.: "Pivoting motion control for a laparoscopic assistant robot and human clinical trials". Advanced Robotics, 19: 695, 2005.
17. VARA-THORBECK, C.; MUÑOZ, V.F.; TOSCANO, R. y cols.: "A new robotic endoscope manipulator". Surgical Endoscopy. 15: 924, 2001.
18. GUILLONNEAU, B.D.: "Laparoscopic versus robotic radical prostatectomy". Nat Clin. Pract. Urol.: 2: 60, 2005.
19. GERBER, G.S; STOCKTON, B.R.: "Trends in endourologic practice. Practice laparoscopic and robotic prostatectomy". J. Endourol., 20: 861, 2006.
20. "Saved by a robot". South of the river. 12: 4, 2006.