



Cirugía robótica mínimamente invasiva

Elizabeth Chacón¹.

¹Traducción

Correspondencia: Instituto de Medicina Tropical - Facultad de Medicina - Universidad Central de Venezuela.

Consignado el 31 de Diciembre del 2000 a la Revista Vitae Academia Biomédica Digital.

RESUMEN

JOURNAL OF THE AMERICAN MEDICINE ASSOCIATION VOL. 285, N° 5. Michael J. Mack, MB. Los avances dentro del campo de la cirugía se han concentrado en la disminución del grado de invasividad en los procedimientos quirúrgicos, al punto de que ha habido un cambio paradigmático significativo en algunos procedimientos en los cuales los cirujanos ya no tocan ni ven directamente las estructuras que están operando. El progreso en el área de las imágenes de video, la tecnología endoscópica, e instrumentación ha hecho posible, en muchas especialidades quirúrgicas, la transformación de muchos procedimientos de cirugía abierta en cirugía endoscópica. El uso de computadoras y robots promete facilitar la ejecución de procedimientos endoscópicos complejos gracias al control por medio de la voz en salas de operaciones conectadas en red, el aumento de precisión para facilitar las operaciones en microescala y el desarrollo de entrenadores de simulación virtuales que contribuyan con el aprendizaje de nuevas operaciones complejas. Las investigaciones del futuro se centrarán en ofrecer modalidades terapéuticas y de diagnóstico realizadas mediante orificios naturales en las cuales la investigación se realiza a control remoto y por navegación, de manera que la verdadera cirugía "no invasiva" será una realidad.

INTRODUCCIÓN

El arte y la ciencia de la cirugía ha experimentado un desarrollo sustancial durante los últimos 150 años desde la introducción de las técnicas antisépticas de Lister, incluyendo el mejoramiento de los agentes anestésicos, los antibióticos, la nutrición parenteral, y el transplante de órganos, en el cual las herramientas básicas y las técnicas permanecieron básicamente iguales. La tarea

central de la "cirugía", que es "cortar y coser" con instrumentos manuales, la visualización directa y el contacto con el órgano o tejido también se ha mantenido igual. Sin embargo, durante el último cuarto de siglo, y especialmente durante la última década ha habido un cambio paradigmático en las técnicas quirúrgicas. En muchos procesos se han reducido drásticamente los métodos "invasivos", obteniéndose mejores resultados que se manifiestan en mayor sobrevida, menos complicaciones y un retorno más rápido a la actividad y la vida productiva. El enfoque de una "invasión" menor o "mínima" ha cobrado auge y ha sido objeto de intensa investigación en los últimos años.

DESARROLLO DE LA CIRUGÍA MÍNIMAMENTE INVASIVA

Las innovaciones metodológicas en cirugía están apenas comenzando. Por primera vez, un cirujano no tiene que ver directamente ni tocar los tejidos u órganos que opera. Creada con el precedente de la pelviscopía en ginecología y la artroscopia en cirugía ortopédica, el uso de la técnica mínimamente invasiva en otras 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 todas las cirugías.

El dolor, la molestia, incapacidad u otra patología producto de la cirugía se deben frecuentemente al trauma ocasionado por la necesidad de obtener acceso al área donde se realizará la operación que por la operación en sí. Por ejemplo, después de una colecistectomía, la necesidad de hospitalización no se debe a la extracción de la vesícula biliar, sino al dolor generado por el trauma en la pared abdominal causado por la incisión realizada para obtener acceso a la vesícula biliar.

Posteriormente a la introducción de la colecistectomía laparoscópica por Mouret en Francia y poco después por Reddick en Estados Unidos se produjeron una serie de hechos que tienen repercusión en la ejecución de cirugías en el siglo XXI¹. Los conceptos de "cirugía a través de un visor" son del siglo XIX, sin embargo fue la tecnología de los últimos años del siglo XX la que hizo que la cirugía laparoscópica y la cirugía mínimamente invasiva no fueran un hecho aislado sino una realidad²⁻³. Las tecnologías que facilitaron este cambio son las siguientes: (1) El desarrollo de sensor óptico electrónico (CCD, por sus siglas en inglés) de acoplamiento, que hizo posible la transmisión de imágenes de vídeo de alta resolución al cirujano a través de un radio de acción óptico, (2) Fuentes de luz de halógeno y xenón de alta intensidad que mejoraron la visualización del campo quirúrgico, y (3) El mejoramiento de la instrumentación manual diseñada con fines endoscópicos. Por primera vez el cirujano no ve directamente la estructura a operar, sino imágenes claras y ampliadas digitalmente que ofrecen una mejor visualización.

	No. de Procedimientos	Procedimientos realizados con la técnica de invasión mínima 1999*, %**
Cirugía General		
Colecistectomía	1 084 882	85
Funduplicatura de Nissen	47 087	95
Adherenciolisis	215 760	72

Apendicectomía	334 388	22
Resección del colon	380 000	7
Herniorrafia	820 191	14
Total	2 882 308	47
Ginecología		
Histerectomía	582 000	15
Miomectomía	64 977	70
Reconstrucción del suelo pélvico	160 000	40
Remoción de las estructuras anexas	350 059	65
Total	1 157 036	37
Urología		
Nefrectomía	44 863	75
Cistocele/recetocèle	158 144	45
Urología pediátrica (orquiopexia, vesicoreflujo)	25 000	80
Adrenalectomía	20 000	60
Total	248 007	55
Cirugía plástica		
Reconstrucción mamaria	182 000	15
Levantamiento facial y de la frente	80 000	25
Total	262 000	18
Cirugía torácica		
Biopsia de pulmón	90 000	75
Resección del pulmón	47 124	60
Total	160 000	60
Cirugía cardiotorácica		
Cirugía de bypass de las arterias coronarias	330 000	17

Reemplazo de válvulas cardíacas	81 000	15
Cirugía de defectos congénitos	25 000	20
Total	436 000	17
Cirugía de intervención vascular		
Extirpación de la vena safena	220 000	35
Bypass periférico vascular	80 000	2
Bypass aortoiliofemoral	75 000	1
Aneurisma aórtico abdominal	51 000	10
Total	426 000	20

Tabla. Procedimientos quirúrgicos realizados con la técnica mínimamente invasiva, 1999*

* Datos tomados de Medtech Insight, Mission Viejo, California.

** Los porcentajes fueron redondeados

En apenas pocos años la cirugía de la vesícula biliar dejó de ser una técnica abierta para convertirse en un proceso endoscópico (ver Tabla). En consecuencia, se aplicaron las técnicas laparoscópicas en otros procedimientos de la cavidad abdominal, incluyendo la operación de hernias⁴, cirugías del reflujo esofágico⁵ y cirugías del colon⁶. Las aplicaciones incluyen la pelviscopia en ginecología, cistostomía, biopsia pulmonar en cirugía torácica⁷, y cirugía cardíaca⁸⁻⁹. No obstante, el entusiasmo e impulso que generó la colecistectomía laparoscópica produjo expectativas irreales de un cambio a corto plazo en otros procedimientos quirúrgicos hacia un abordaje menos invasivo. El éxito arrollador e inmediato de este procedimiento no se repitió en otros.

Los procedimientos quirúrgicos se pueden clasificar de acuerdo a su complejidad y pueden dividirse en: procedimiento quirúrgico de extirpación, en el cual se extrae una estructura (apendicectomía, colecistectomía); procedimiento quirúrgico de ablación, en el cual se destruye un tejido (criocirugía de los tumores hepáticos); o procedimiento quirúrgico reconstructivo, en el cual las estructuras son empatadas o conectadas (anastomosis del intestino o las trompas de Falopio, injerto de bypass de la arteria coronaria). Los procedimientos de extirpación y ablación son más fáciles de realizar que los reconstructivos y son más sencillos de adaptar a las técnicas endoscópicas.

Los procedimientos quirúrgicos también pueden clasificarse de acuerdo al volumen de casos en: alto o bajo volumen. Los procedimientos de alto volumen de casos son más exitosos en períodos más cortos que los de bajo volumen de casos, ya que los primeros ofrecen la oportunidad de aprender más rápidamente el procedimiento y la "oportunidad de mercado" para el desarrollo de tecnología. El éxito de la colecistectomía laparoscópica se debió en gran medida al procedimiento de extirpación sencillo, la oportunidad que tuvieron los cirujanos de perfeccionar el método (400.000 operaciones al año) y porque ofrece a la industria de equipos médicos la posibilidad de invertir en su desarrollo. Otros procedimientos de extirpación no han sido modificados tan rápidamente debido a que presentan un bajo volumen de casos. Tampoco otros procedimientos de alto volumen de casos han sufrido cambios, como el injerto de bypass de las

arterias coronarias, debido a la complejidad y la naturaleza reconstructiva del procedimiento quirúrgico.

CIRUGÍA CARDÍACA MÍNIMAMENTE INVASIVA

Aunque la cirugía cardíaca se ha realizado exitosamente más de 10 millones de veces en los últimos 30 años generalmente con buenos resultados, cortar el esternón y abrir la caja torácica para tener acceso al corazón contribuye a la aparición de un número significativo de patologías. La cirugía cardíaca se diferencia de otros procesos quirúrgicos porque la máquina de circulación extracorpórea produce mayor morbilidad. Si bien la cirugía de injerto de bypass en las arterias coronarias se realizó a finales de la década de los 60 en un corazón latiendo¹⁰, la máquina de circulación extracorpórea fomentó el desarrollo de la cirugía cardiovascular y permitió una aplicación más extensa y rutinaria de la misma. Ahora es evidente que la morbilidad causada por el bypass cardiopulmonar es mayor que la de la esternotomía¹¹.

Hubo dos enfoques durante la década de los 90 que intentaron hacer menos invasiva la cirugía cardíaca. El procedimiento MIDCAB (bypass directo de la arteria pulmonar mínimamente invasivo) consiste en la aplicación de un bypass en un sólo canal sanguíneo en la superficie anterior del corazón realizada en un corazón latiendo a través de una pequeña toracotomía anterior¹². En la técnica de acceso por orificios se ensayó una cirugía endoscópica total de bypass en las arterias coronarias en un corazón detenido que todavía utilizaba un bypass cardiopulmonar¹³. Debido a las complejidades que presentaba la cirugía cardíaca, el enfoque de la endoscopia total resultaba demasiado exigente, así que tanto el procedimiento de bypass coronario simple como el de la válvula mitral se realizaron a través de una pequeña incisión de toracotomía.

Aunque estos logros iniciales catalizaron el movimiento en pro del enfoque de la invasión mínima en cirugía cardíaca, estos representan ahora una minoría en los procedimientos quirúrgicos cardíacos. Sin embargo, dichos logros evolucionaron hasta desarrollar el actual procedimiento de nombre OPCAB (injerto de bypass en la arteria coronaria sin flujo) en el cual se realiza un bypass en vasos múltiples en un corazón latiendo a través de una incisión mediana de esternotomía. Aunque todavía persiste una amplia exposición y el cirujano realiza la operación teniendo una visión directa sobre el órgano y con instrumentos convencionales, la eliminación de la máquina de circulación extracorpórea y la realización del procedimiento en un corazón latiendo son hechos que mejoran los resultados y en definitiva convierten a este método en un procedimiento menos invasivo que la cirugía de bypass cardíaco convencional¹⁴⁻¹⁵. Los estabilizadores mecánicos facilitan el éxito de estos procedimientos, ya que permiten la inmovilización local y la estabilización de la arteria coronaria a la que se le aplicará el bypass mientras el resto del corazón late y mantiene la circulación. Esta técnica aún está en evolución pero actualmente se utiliza en 18% a 20% de las operaciones de bypass en la arteria coronaria que se realizan en Estados Unidos (según la base de datos de casos relacionados del sistema hospitalario de la Corporación de Hospitales de Estados Unidos, 1999).

PROCEDIMIENTOS QUIRÚRGICOS COMPLEJOS MÍNIMAMENTE INVASIVOS

La aplicación de los procedimientos mínimamente invasivos en cirugías más complejas requerirá nuevas tecnologías y técnicas. En cirugía general, con técnicas como la laparoscopia manualmente asistida se busca cerrar la brecha que existe entre el procedimiento abierto y el procedimiento totalmente endoscópico. Otras posibilidades incluyen el desarrollo de nuevos métodos para realizar tareas quirúrgicas convencionales como una forma de adaptar estos procedimientos a un abordaje endoscópico o menos invasivo. Algunos ejemplos incluyen el uso de dispositivos implantables para el tratamiento del reflujo gastroesofágico y el reemplazo de suturas y grapas por gomas y selladores biológicos.

Es mucho el esfuerzo invertido en perfeccionar la cirugía de bypass coronario endoscópico¹⁶. Con el fin de simplificar el procedimiento totalmente endoscópico en un corazón latiendo, existe un gran interés en el uso de la anastomosis vascular facilitada con conectores, aparatos de empalme, pegamentos y selladores para realizar una tarea que es posible actualmente sólo con sutura. Una alternativa es el logro de una mayor precisión, posiblemente a través de la robótica.

AVANCES EN LA ROBÓTICA

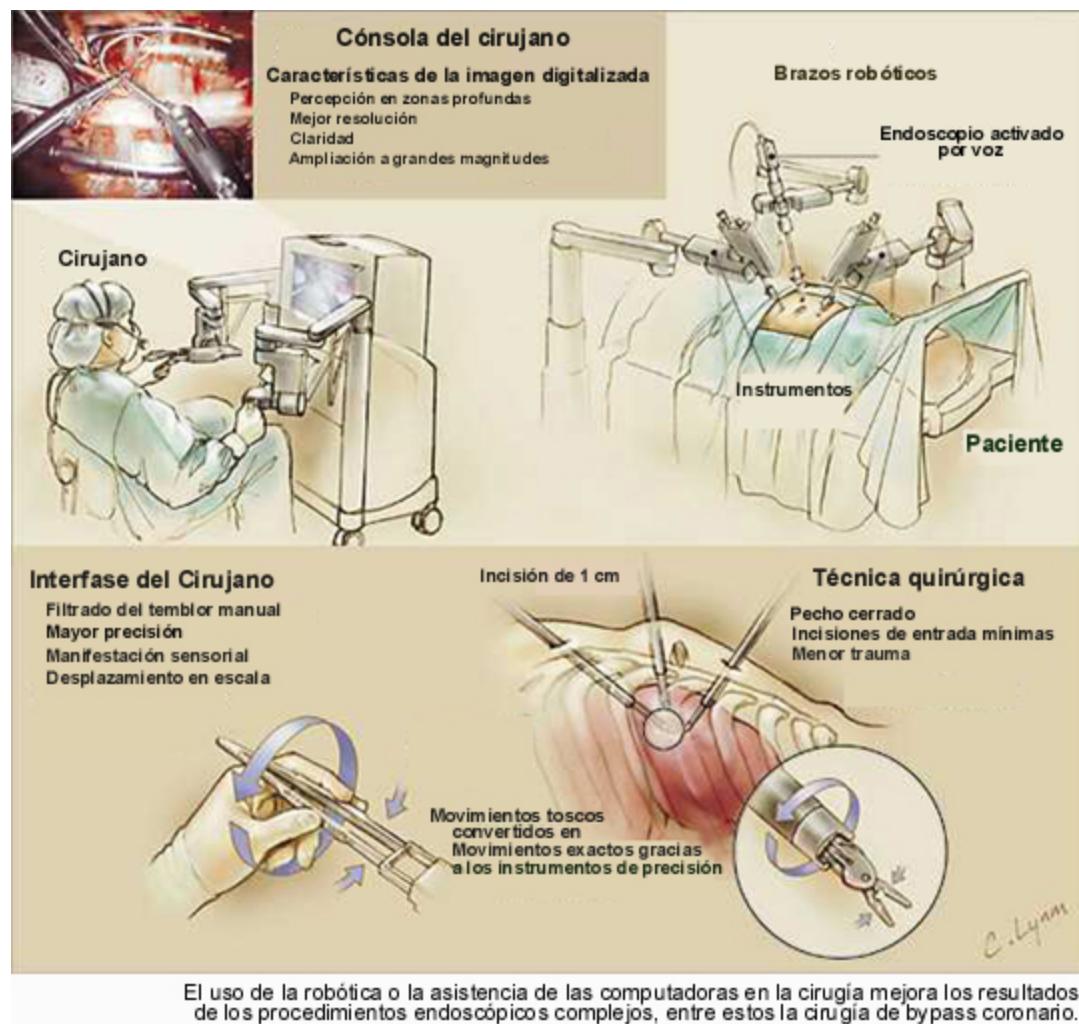
El concepto inicial del uso de la robótica en cirugía consistía en operar en un lugar distante del cirujano. La habilidad de trasponer la experticia técnica y quirúrgica de un lugar a otro distante (un campo de batalla, una estación espacial o un país en desarrollo) tenía como objetivo expandir la aplicación quirúrgica. Aunque ya se han podido realizar procedimientos quirúrgicos simples a distancia, en el presente no está definida su aplicación práctica debido a factores de costo, el retraso en la transmisión de información y las implicaciones médicas y legales¹⁷. La aplicación de la cirugía por telepresencia en un futuro previsible probablemente estará limitada al teleconsejero y no a la operación remota. El teleconsejero le permitirá al cirujano enseñar o dirigir la aplicación de una técnica avanzada o nueva en un lugar remoto por teleobservación y monitoreo en tiempo real.

Sin embargo, se espera que la robótica produzca un impacto en el campo de la cirugía mínimamente invasiva. Las tareas potenciales que facilitarán las computadoras y la robótica incluyen acopio de información y conexiones en red, navegación y orientación¹⁸, mejoramiento de la precisión¹⁹ y simulación de entornos virtuales. El objetivo es crear un sistema completamente integrado que convierta la información en acción. Lo ideal sería trascender las limitaciones de carácter humano mediante la recolección y captación de información (tomografías computarizadas, imágenes por resonancias magnéticas y ultrasonografías) o el mejoramiento de la información emitida, bien sea sobre la base de una microescala o en áreas del cuerpo de difícil acceso.

Actualmente las aplicaciones de la robótica incluyen asistencia quirúrgica, aumento de la precisión, sistemas conectados en red y terapia guiada por imágenes. 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 (sobrehumanas) que serían imposibles sin la ampliación por computadora. El "desplazamiento a escala" consiste en convertir los movimientos toscos de la mano en movimientos delicados y precisos, así como un mejor control de la resistencia mecánica, que le permitirán al cirujano realizar tareas que todavía no son

posibles. Un ejemplo de estas tareas es la canulación de las venas de la retina con una aguja para la administración de una terapia local a fin de tratar la trombosis de las venas de la retina; esta técnica (que consiste en la canulación de una estructura de 100 micrones) no sería posible sin la precisión mejorada que proporciona la robótica²⁰.

Otro punto central en el perfeccionamiento de la técnica es la cirugía laparoscópica y el bypass coronario endoscópico utilizando los sistemas quirúrgicos robóticos²¹⁻²² (ver figura). Las operaciones de bypass coronario endoscópico realizadas en un corazón latiendo se han llevado a cabo a pesar de que se requiere el perfeccionamiento de la técnica existente y el desarrollo de nuevas técnicas antes de su aplicación rutinaria. La inmovilización o ausencia de desplazamiento virtuales permitirían en un momento dado operar un corazón latiendo bajo la ilusión de inmovilidad, mediante la "regulación" o sincronización de la instrumentación y el campo visual con el latido del corazón.



El perfeccionamiento de las técnicas endoscópicas presenta retos especiales. En primer lugar, la limitación que significa realizar una tarea en un espacio reducido supone hasta cierto punto una pérdida de libertad y la gama de desplazamientos de los instrumentos queda automáticamente restringida. La robótica y otras técnicas deberán solucionar estos inconvenientes. En segundo lugar, en una pantalla de televisión bidimensional hay una pérdida de las imágenes tridimensionales, aunque hoy esto se puede solucionar con los sistemas actuales de imágenes bidimensionales que incluyen la digitalización y el sombreado para crear la ilusión de tres

dimensiones, a lo que hay que sumar los monitores para presentación de imágenes de alta resolución. Sin embargo, las imágenes tridimensionales presentan limitaciones en cuanto a pérdida de resolución debido a los sistemas de filtrado y el tamaño de los sistemas de visualización necesarios para producir una percepción profunda. Estas desventajas comenzaron a ser solucionadas por algunos sistemas existentes y otros que pronto estarán disponibles en el mercado.

El uso potencial de técnicas con imágenes no visuales, incluyendo la generación de modelos tridimensionales y la reconstrucción de datos de imágenes tomográficas computarizadas, de resonancias magnéticas y ultrasonido, permiten la adquisición en tiempo real de datos de características patológicas y la evaluación remota de una terapia percutánea. Otras funciones posibles de la asistencia robótica y por computadora en cirugía incluyen el control de voz sobre los manipuladores electromecánicos quirúrgicos y de información. En el presente, existe la tecnología adecuada que le permite al cirujano el control de prácticamente todos los equipos de la sala de operaciones incluyendo equipos de electrocauterización, manipulación endoscópica, iluminación y teléfono. Hay esperanzas de que desarrollos futuros amplíen los datos para el campo operativo, incluyendo la reconstrucción de imágenes de resonancias magnéticas tridimensionales y la adquisición de datos fisiológicos.

CONCLUSIÓN

Los avances alcanzados en los últimos 10 años han hecho posible la ejecución de operaciones quirúrgicas sin que se vea directamente o toque directamente el órgano a intervenir. Actualmente, los esfuerzos se centran en aquellas técnicas que facilitan las tareas más complejas mediante técnicas de invasión mínima.

Entre las tecnologías que tendrán un impacto en la cirugía se encuentran aquéllas que ofrecen la posibilidad de llevar a cabo procedimientos a través de los orificios naturales, tales como el tratamiento del reflujo gastroesofágico, el cual se realiza con un método más transoral que laparoscópico y con instrumentos flexibles miniaturizados capaces de efectuar suturas, colocar grapas o aplicar fuentes de energía para cortar o contraer tejidos. Los avances en la transmisión remota de energía concentrada (ultrasonido y radiación) teniendo como guía las imágenes (de resonancias magnéticas y ultrasonido) permitirán la extirpación de los tumores de la próstata, la mama, el hígado y los pulmones, sin necesidad de realizar una incisión. Los métodos no invasivos podrían utilizarse en la extirpación de placas en las arterias, la revascularización del miocardio, el tratamiento del codo de tenista y las fracturas desplazadas.

Los avances en la tecnología de microcircuitos integrados y la tecnología inalámbrica permitirán el desarrollo de cámaras ingeribles en forma de cápsulas, sensores y registros médicos implantables, microrobots que culminan las operaciones quirúrgicas e implantes controlados magnéticamente a bordo de los cuales se podrán explorar lugares remotos del cuerpo. La tecnología está aquí, el potencial es enorme y el trayecto es corto.

Tarea	Función	Pronóstico
Asistente quirúrgico	Sostiene/coloca el endoscopio, es activado por voz	De uso cada vez más común

Mejoramiento de la precisión Desplazamiento a escala Filtración del temblor de la mano Control de la resistencia mecánica	Facilitan la precisión de los procedimientos endoscópicos	De 1 000 procedimientos realizados hasta ahora, 50% son cardíacos y 50% son laparoscópicos.
Sistemas de redes para quirófanos	Permiten el control remoto o la activación por voz de los equipos de los quirófanos por parte del cirujano mediante pantallas digitales	Rápida integración de los sistemas de salas de operaciones en un futuro cercano.
Cirugía por telepresencia Cirugía remota Teleconsejero	El cirujano puede estar en un lugar distante del paciente y utilizar una transmisión de banda ancha o Internet. Asesoramiento desde un sitio distante	No se vislumbra un camino claro de aplicación clínica. Se ha demostrado que tiene gran potencial como nuevo paradigma educativo.
Mejoramiento de la información Generación de modelos y reconstrucción de imágenes tridimensionales Seguimiento de imágenes referenciales	Adquisición de datos en tiempo real y generación de imágenes no visuales	Reconstrucción tridimensional de tomografías computarizadas, imágenes por resonancias magnéticas, ultrasonografías con cubiertas quirúrgicas que facilitan la terapia percutánea.
Inmovilización virtual (estabilización del movimiento)	"Regulación" y sincronización de la visualización y los instrumentos quirúrgicos a los latidos del corazón para crear la ilusión de la "paralización"	Facilita la cirugía endoscópica de un corazón latiendo "
Simuladores virtuales	Simuladores de vuelo aplicados a la cirugía	A punto de convertirse en realidad y ser accesibles
Mejoramiento de la información Manifestación sensorial	Acción en respuesta a una manifestación no visual	Potencialmente utilizable para la administración local "inteligente" de medicamentos/energía

			basada en manifestaciones a nivel del tejido.
Sistemas microelectrónicos	mecánicos	Robots autónomos en miniatura	Diagnóstico remoto y administración a través de conductos o vasos corporales.

Desarrollos tecnológicos actuales y futuros en el campo de la robótica y la asistencia en cirugía

BIBLIOGRAFÍA

1. Reddick EJ, Olsen DO. Laparoscopic laser cholecystectomy: a comparison with minilap cholecistectomy. *Surg Endosc*. 1989; 3:131-133.
2. David CJ, Filipi CJ. A History of endoscopic surgery. In Arregui ME, Fitzgibbons RJ Jr, Katkhouda N, McKernan JB, Reich H.eds. *Principles of Laparoscopic Surgery: Basic and Advanced Techniques*. New York, NY; Springer-Verlag NY Inc; 1995:3-20.
3. Jacobaeus HC. Possibility of the use of a cystoscope for investigation for investigation of serous cavities. *Munch Med Wochenschr*. 1910;57:2090-2092.
4. Liem MS, var der Graaf Y , ven Steensel CJ, et al. Comparison of conventional surgery for inguinal-hernia repair. *N Engl J Med*. 1997;336: 1541-1547.
5. Soper NJ, Jones DB. Laparoscopic nissen fundoplication In: Nythus LM, Baker RJ, Fischer JE,eds. *Mastery of Surgery*, 3rd de Boston, Mass: Little Brown & Co; 1996;763-770.
6. Peters WR, Bartels TL. Minimally invasive colectomy: are the potential benefits realized? *Dis Colon Rectum*. 1993;35:751-756.
7. Mack MJ, Aronoff RJ, Acuff TE, Douthit MB, Bowman RT, Rayan WH. Present role of the thoracoscopy in the diagnosis and treatment of diseases of the chest. *Ann Thorac Surg*. 1992;54:403-409.
8. Jansen EW, Borst C. Lahpor JR, et al. Coronary artery bypass grafting without cardiopulmonary bypass using the Octopus method: results in the first one hundred patients. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1998;116:60-67.
9. Calafiore AM, Teodori G, Giamarco GD. Multiple arterial conduits without cardiopulmonary bypass: early angiographic results. *Ann Thorac Surg*. 1999;67:450-456.
10. Kolessov VI. Mammary artery-coronary artery anastomosis as method of treatment for angina pectoris. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1967;54:535-544.
11. Ascione R, Lloyd CT, Underwood MJ, Lotto AA, Pitsis AA, Angelini GD. Inflammatory response after coronary revascularization with or without cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg*. 2000;69:1198-1204.
12. Subramanian VA, McMabe JC, Geller CM. Minimally invasive direct coronary artery bypass grafting: two-year clinical experience. *Ann Thorac Surg*. 1997;64:1648-1655.
13. Stevens JH, Burdon TA, Peters WS, et al. Portaccess coronary artery bypass grafting: a proposed surgical method. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1996;111:567-573.
14. Boyd WD, Desai ND, Del Rizzo DF, et al. Off pump surgery decreased postoperative complications and resource utilization in the elderly. *Ann Thorac Surg*. 1999; 68:1490-1493.
15. Diegeler A, Hirsch R, Schneider F, et al. Neuromonitoring and neurocognitive outcome in offpump versus conventional coronary bypass operation. *Ann Thorac Surg*. 2000;69:1162-

- 1166.
16. Damiano R. Next up: surgery by remote control. *New York Times*. April 4, 2000:D1.
 17. Whitcomb LL, Taylor RH, Macali S, Kavoussi LR. Transcontinental telesurgical robotic percutaneous renal access: case study. *Telemedicine J*. 1999;5:27.
 18. Anderson J. Image guided robotic assisted percutaneous interventions. *J Vasc Interv Radiol*. 1999; 10(suppl):198-201.
 19. Taylor R, Jensen P, Whitcomb L, et al. A steady-hand robotic system for microsurgical augmentation augmentation. *Int J Robotic Res*. 1999;18:12.
 20. Riviere CN, Jensen PS. A study of instrument motion in retinal microsurgery. Abstract presented at: 21st Annual Conference of IEEE Eng Med Biol Soc; June 26, 2000; Chicago, III
 21. Loulmet D, Carpentier A, d'Attellis N, et al. Endoscopic coronary artery bypass grafting with the aid of robotic assisted instruments. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1999; 118:4-10.
 22. Reichenspurner H, Damiano RJ, Mack MJ, et al. Use of the voice-controlled and computer-assisted surgical system ZEUS for endoscopic coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1999; 118:11-16.