

Cirujano General

Volumen 25
Volume 25

Número 4
Number 4

Octubre-Diciembre 2003
October-December 2003

Artículo:

Cirugía robótica

Derechos reservados, Copyright © 2003:
Asociación Mexicana de Cirugía General, A. C.

Otras secciones de este sitio:

- ☞ Índice de este número
- ☞ Más revistas
- ☞ Búsqueda

Others sections in this web site:

- ☞ *Contents of this number*
- ☞ *More journals*
- ☞ *Search*



Edigraphic.com

Cirugía robótica

Robotic surgery

Dr. Adrián Carbajal Ramos

Resumen

Objetivo: Describir el estado del arte de la cirugía asistida con robots, la cirugía de telepresencia, un panorama de los resultados científicos hasta el momento, el rol que los cirujanos mexicanos han jugado en este desarrollo y una visión personal del futuro de la digitalización del movimiento.

Obtención de la información: Fue resultado de nuestro trabajo realizado en las investigaciones, así como del proceso de entrenamiento realizado en México y USA, en convivencia con ingenieros biomédicos, ingenieros en robótica, investigadores, diseñadores de instrumentos, analistas, administradores de investigación, etcétera.

Resultados: En 1994 se inició el uso de asistentes robóticos en cirugía de mínima invasión, en 1997 se interviniieron los primeros pacientes con un sistema de telepresencia, en 1998 se realizó el proyecto D'Vinci, aprobado por la FDA en julio 2000; en el 2001 se inició el Proyecto Zeus que obtuvo la aprobación de la FDA en septiembre 2002. A partir de febrero de 2003 comenzó el proceso de fusión de las dos compañías líderes mundiales en robótica. Este proceso, del que hemos sido testigos y actores, ha sucedido en menos de 10 años, en pleno desarrollo de las técnicas de mínima invasión; hoy existen casi 150 robots de telepresencia asistiendo a cirujanos en el mundo y cerca de 250,000 actos quirúrgicos se han realizado con robots asistentes hasta el año 2003.

Conclusión: En los siguientes años veremos la consolidación de estos proyectos y el desarrollo de técnicas de micro y nanomanipulación robótica, que probablemente encuentren su mejor expresión en ingeniería genética.

Palabras clave: Cibernetica, robótica, telepresencia, digitalización, cirugía de mínima invasión.

Cir Gen 2003;25: 314-320

Introducción

La novela de ciencia ficción "1984"¹ escrita en 1950 por George Orwell, describe que en 1984 el mundo estaría controlado por computadoras; el escenario planteado equivale a una prisión abierta, el "Big Brother" controla

Abstract

Objective: To describe the state of art of robotic-assisted surgery, telepresence surgery, an overview of the scientific results obtained to the present, the role played by Mexican surgeons in this development, and a personal view of the future of digitalization of movement.

Data collection: This publication is the result of our work performed in research, as well as the training process undergone in Mexico and the USA, together with biomedical engineers, robotic engineers, researchers, instrument designers, analysts, research administrators, etc.

Results: In 1994, the use of robotic assistants was started in minimal invasive surgery; in 1997, the first patients were operated with a telepresence system; in 1998, the D'Vinci project was started obtaining FDA approval in July 2000; in 2001 the Zeus project was started obtaining FDA approval in September 2002. Since February 2003, a fusion process between the two leading world enterprises in robotics has been started. This process, of which we have been witnesses and actors has happened in less than 10 years, during the boom of minimal invasive techniques development.

Today, there are almost 150 telepresence robots assisting surgeons all over the world and almost 250,000 surgical interventions have been assisted by robotics.

Conclusion: In the following year we will witness the consolidation of these projects and the development of robotic micro- and nano-manipulation techniques, which will probably find their best expression in genetic engineering.

Key words; Cybernetics, robotics, telepresence, digitalization, minimally invasive surgery.

Cir Gen 2003;25: 314-320

en exceso todos los aspectos de la vida de los habitantes de "Oceanía". Leí este libro en 1984 y esto no fue real, o al menos no teníamos conciencia de qué tan real era este control. En 1984, la informática mostraba avances extraordinarios, avances de una era dorada que cre-

Hospital Torre Médica. México D.F.

Recibido para publicación: 15 de junio 2003

Aceptado para publicación: 15 de julio 2003

José María Iglesias # 21 Col. Tabacalera, México, DF CP 06030 Tel. 55 35 49 25 Fax 55 66 18 14
e-mail:adrian_carbajal@infosel.net.mx

cía y, en los laboratorios, se gestaban las armas informáticas que hoy usamos cotidianamente y que fueron las bases del “boom” que, en cirugía conocimos a partir de 1987 como cirugía de mínima invasión, y que hoy en el año 2003 recorre el mundo en franca expansión, para hablar sólo de nuestro terreno. El año 1985, William Gibson, novelista de ciencia ficción, publicó la novela “Neuromante”,² en la que narra cómo vive la gente en un mundo de información, un mundo que controla la “matrix”, la suma interconectada de todas las redes de computadoras del mundo: *El ciberespacio*. Hoy, en el año 2003, esto es una realidad que ya no impresiona a nadie, pues millones de personas “viven”, literalmente, en y del ciberespacio y el número se incrementa cada día.

La cibernetica incursionó en la cirugía desde hace 10 años, y la velocidad del desarrollo y del exceso de información, con frecuencia nos hace sentir fuera de contexto; por lo que en un intento de acotar el rol de la cibernetica en nuestro campo, me parece importante bosquejar en grandes trazos, el estado del arte de la cirugía robótica.

Los primeros sueños

Los autómatas se conocen desde la primera centuria de nuestra era, cuando el sultán Harun Ar-Rashed le regala a Carlomagno un reloj animado. Golem es un monstruo robótico de la mitología judía. Jacques de Vaucanson (1709-1782) construyó máquinas que imitan movimientos y exhibió en 1738, un pato mecánico que comía granos vegetales, aleteaba, graznaba y minutos después evacuaba una sustancia suave. Julio Verne escribió, en 1800, sobre humanos artificiales.³

El origen

La cibernetica fue originalmente la ciencia de los mecanismos de control y las comunicaciones, tanto en los seres vivos como en las máquinas. Hoy es una hiperciencia que estudia el cerebro humano e interviene decisivamente en el diseño de los robots que exploran otros mundos. Es la cibernetica una rama de la informática que digitaliza el movimiento, con todas sus implicaciones y consecuencias. Sus tres áreas principales son la robótica, la biónica y la autómata. La cibernetica como ciencia formal fue iniciada por Norbert Wiener de EUA en 1940, y la palabra acuñada por N. Wiener y A. Rosenblueth en 1948, deriva del griego “kubernetes” que significa piloto o timonel, el que dirige. La cibernetica nació formalmente a finales de la década de 1940, cuando el matemático estadounidense Norbert Wiener (1894-1964) sistematizó la relación de los seres humanos con las máquinas y su posible co-evolución, luego de intercambiar experiencias y datos de laboratorio sobre el funcionamiento del sistema nervioso central con el neurofisiólogo mexicano Arturo Rosenblueth (1900-1970). Así que la reunión de las matemáticas y la neurofisiología -en particular la electrofisiología- formó el núcleo inicial de la cibernetica. Un objeto de estudio característico de la cibernetica es el problema cerebro-mente, y como una ciencia híbrida surgida de las matemáticas y la neurofisiología es fundamental en la teoría del conocimiento, la

inteligencia artificial, la computación, la bioelectrónica y la robótica entre otros.⁴

La palabra robot se acuñó en 1920 por Karel Čapek autor checoeslovaco, en su obra de teatro “Rossum's universal robots”, en checo “robot” significa trabajador forzado, o esclavo. Isaac Asimov escribió, en 1940, sobre robots benevolentes y creó las leyes de la robótica. J. Engelberger y G.C. Devol, físicos devotos de Asimov, crearon, entre 1956 y 1970, la primera fábrica de robots y llegaron a producir 4,500 robots industriales autónomas en un año. Koken, compañía japonesa de robots creó, en 1980, un paciente robótico como auxiliar de enseñanza. En 1981 M. Gordon de Miami, FL, USA creó a Harvey, un robot que simula 26 enfermedades. En el 2003 es común ver una gran variedad de robots.^{3,5}

Se consolidan las bases

La investigación aero-espacial en la década de los años sesenta generó, entre muchas ideas, simuladores de vuelo con base en tecnología de realidad virtual; esto estimuló a diversos investigadores y nació la idea de la tele-presencia, fase avanzada de la realidad virtual.⁶⁻⁹

El desarrollo acelerado de las comunicaciones, pero sobre todo, el impresionante y vertiginoso progreso de la informática y la inteligencia artificial han sentado las bases de la digitalización, entre las que destacan la del audio y del video, y con el desarrollo integracional de la cibernetica, la digitalización del movimiento, con robots maestro-esclavo como efectores, y se avizora como un parteaguas en la creación de nuevos paradigmas en la realización de tareas manuales que desarrolla el ser humano, entre éstas, la cirugía en casi todas sus formas.⁶⁻⁹

El proceso

La revolución de la informática en cirugía lo constituye la cirugía endoscópica o cirugía de mínima invasión, que a partir de los trabajos del Dr. Kurt Semm desde la década de los años setenta y, en 1987, con la realización de la primera colecistectomía por Erik Muhe en Bonn, Alemania, se agregó una forma de realizar técnicas quirúrgicas. Las limitaciones de estas técnicas y sus resultados han motivado una intensa investigación en todos los campos relacionados; así, hemos sido testigos en los últimos años del acelerado desarrollo de los sistemas de laparoscopía convencional a sistemas de tercera dimensión¹⁰⁻¹⁷ hasta el uso de robots que auxilian a los médicos en cirugía general, cardiovascular, pediátrica, ortopédica, urológica, neurocirugía, etc.⁵ En 1991 R. Taylor, T.S Taylor, Paul y Bela Mussits de Sacramento, CA, USA, iniciaron un programa de uso clínico del Robodoc, un robot que realiza con base en información de tomografía o resonancia magnética, el canal para el implante de una prótesis de fémur. La contraparte para el manejo del acetábulo se llama Orto-dock y fue desarrollado en 1994 por Antonio DiGoia, del hospital Shadyside en la Universidad de Carnegie-Mellon, en Pittsburgh, PA, USA.^{18,19}

En 1991, en Palo Alto, CA, el ingeniero biomédico Philippe Green desarrolló un prototipo de cirugía de tele presencia y los prototipos de sensores y efectores maestro-esclavo para realizarla.^{20,21} Casi simultáneamente, el

Dr. Stephen Jacobsen, de la compañía Sarcos de Utah, diseñó brazos y manos robóticas que replican, por control inalámbrico, los movimientos humanos. Por su parte, R. Brooks y Anita Flynn, del Instituto Tecnológico de Massachusetts son pioneros de la micro robótica médica y desde 1994 trabajan en micro-robots, cuyos modelos inalámbricos realizan colonoscopía experimental, y son el antecedente inmediato de proyectos como Imagyn, cápsula-cámara ingerible que puede recorrer el aparato digestivo.^{18,19}

En agosto de 1993, en el San Diego Medical Center de la Universidad de California, en La Jolla, CA, el Dr. Jonathan Sackier realizó la primera colecistectomía laparoscópica con el robot AESOP 1000 (Advanced Endoscopic System for Optimal Positioning) (**Figuras 1 y 2**) como auxiliar, para conducir el laparoscopio, que había sido construido por Yulun Wang en Computer Motion Inc. en Santa Bárbara, CA;⁵ a partir de este momento, cientos de robots de este tipo han ayudado a cirujanos de varios países de Europa, USA, Canadá, Colombia y

México a realizar más de 250,000 intervenciones de 1994 al 2003.^{22,23} El Dr. Adrián Carbajal Ramos (ACR) y colaboradores lo emplearon en 50 cirugías en 1996 en el hospital Torre Médica, en México, DF, y otros hospitales del país; el Dr. Harry Miller ha intervenido más de 100 pacientes entre 1999 y 2003. Este modelo evolucionó a Esopo 2000, 3000 y, en el 2003, la versión 4000; son robots esclavos que obedecen comandos de voz del cirujano, al que se le integra HERMES, software de intercomunicación, que controla además del sistema robótico, las opciones electrónicas de un quirófano –mesa quirúrgica, lámparas, equipo de laparoscopía-, además de la capacidad de intercomunicación telefónica e internet; esta integración de ideas conforma el concepto de “quirófano inteligente”. A partir del 2002 se sumó a estos conceptos el sistema de tele asesoría SOCRATES. Desde 1995 estaba en desarrollo ZEUS, robot para realizar cirugía de telepresencia, con el que, en junio-agosto de 1998 operaron, en un protocolo de factibilidad, 10 casos de plastía tubaria en la Cleveland Clinic. Antonio García Ruiz y Tomaso Falcone.²⁴

Los antecedentes de estos prototipos son las investigaciones realizadas en 1991 por el Ing. Philippe Green de SRI. (Stanford Research Institute); que dieron como resultado el primer prototipo para realizar telecirugía, cirugía de telepresencia o cirugía asistida por computa-



Fig. 1. Robot Aesop (Esopo), construido en 1993 por Yulun Wang en Santa Barbara, CA.



Fig. 2. Colecistectomía realizada por Jonathan Sackier, auxiliado por el robot Esopo (1993).

doras, conocido originalmente como sistema Green de telepresencia; y con este prototipo se realizaron los primeros tanteos de telementrización.^{20,21}

Con base en este desarrollo, Richard M. Satava, cirujano del ejército de los EUA, en 1992, a cargo de ABTP (Advanced Biomedical Technology Program), dependencia de investigación biomédica de ARPA (Advanced Research Project Administration) y el Ing. Philippe Green realizaron investigaciones en manipulación remota, con el objeto de atender emergencias en los campos de guerra, desde lugares remotos.²⁵⁻²⁹ Pruebas no publicadas, realizadas en la guerra "Tormenta del desierto" demostraron que la interferencia satelital impedía realizar cirugía experimental con seguridad. Con base en estos hechos ARPA y ABTP descartaron su uso en escenarios de guerra como MASH (Mobile Advanced Surgical Hospital) y licitaron los resultados de la investigación original (Licencia w # 952650). En 1995, Frederick Moll fundó Intuitive Surgical Inc., en Mountain View, CA., habían adquirido los derechos de la investigación original e iniciaron trabajos de adaptación para uso clínico. El 3 de marzo de 1997 se intervinieron los primeros cinco casos de cirugía laparoscópica, dentro del mismo quirófano, en el hospital St. Blasius, en Dendermonde, Bélgica por Jack Himpens, G. Leman y G.B. Cadiere; intervinieron dos casos de colecistectomía laparoscópica, un tumor benigno de ovario y dos fistulas arterio-venosas para hemodiálisis, con éxito.³⁰ De esta primera evaluación surgieron modificaciones importantes que cristalizaron en un segundo prototipo del "Sistema Green", ahora "Mona" de Intuitive; y con éste se realizaron, de marzo a mayo del 98, 12 intervenciones más, dos de funduplicación laparoscópica tipo Nissen, en el hospital Saint Pierre de Bruselas, Bélgica por Guy B. Cadiere; un caso de comunicación inter-auricular, seis plastías valvulares de corazón, tres puentes de arteria mamaria a coronaria en los hospitales Broussais de París, por Alan Carpentier y Didier Loulmet; y en el Leipzig Heart Center, de Leipzig, Alemania, por los Drs. Friedrich-Wilhelm Mohr, Randoyh Chitwood, Volkmar Falk y Anno Diegeler; estas experiencias fueron presentadas en el IV Congreso Mundial de Cirugía Endoscópica, en 1998, en Roma, Italia.

Jacques Marescaux, cirujano francés, realizó una colecistectomía laparoscópica el 9 de septiembre del 2001 con el sistema Zeus, transmitida de New York, USA, a Estrasburgo, Francia, por cable de fibra óptica trasatlántica, las señales de audio, video y movimiento recorrieron 3,800 millas de distancia, para cruzar el Atlántico, con un retraso de la señal de 150 milésimas de segundo.³¹

Hasta el 2003, diversos países además de USA, como, Alemania, Canadá, Japón, Italia, España, y Portugal, con el proyecto TAP (Telemedicine Advanced Project) y con el proyecto ARTEMIS (Advanced Research Telemedicine Minimally Invasive Surgery) realizan investigación en telecirugía con diversos sistemas y han publicado sus experiencias iniciales.³²⁻³⁷

Bases científicas

El Proyecto D'Vinci fue la investigación diseñada para contestar la pregunta ¿es equivalente estadísticamente

utilizar instrumentos laparoscópicos convencionales a utilizar instrumentos laparoscópicos robóticos en colecistectomía y Nissen 360°? y ubicar el lugar que la robótica puede tener en cirugía general, en una primera fase.

El Proyecto D'Vinci se realizó del 27 de julio al 27 de octubre de 1998 en el hospital Torre Médica en México, DF. Reclutamos 475 pacientes, seleccionamos 250, con problemas de litiasis biliar (n=122) y con enfermedad por reflujo gastroesofágico (n=128). Se distribuyeron entre 4 equipos quirúrgicos, liderados por los cirujanos Barry Gardiner, de Oakland, CA., Alan White de Tacoma, Washington; Guy Bernard Cadiere de Bruselas, Bélgica y Adrián Carbajal Ramos de México. El primer caso fue una colecistectomía laparoscópica, realizada por ACR el 27 de julio de 1998; a partir de este hecho, cada equipo realizó 62 cirugías en promedio, 50% con el sistema D'Vinci de telepresencia (**Figura 3**) y 50% con cirugía laparoscópica convencional. La clasificación, logística, la comparación entre cirugía asistida por robot y laparoscopía convencional, el análisis de morbi-mortalidad, un protocolo de anestesia y el seguimiento a 1, 3, 6, 12, 18 y 24 meses en un estudio aleatorio, prospectivo y controlado, integran el Proyecto D'Vinci, que busca equivalencia estadística de resultados entre cirugía endoscópica robótica vs. los estándares de calidad conseguidos hasta 1998 por la cirugía laparoscópica convencional. Los resultados fueron equivalentes, y logró la aprobación de la Food and Drugs Administration (FDA) en USA, el 11 de julio del 2000.

Paralelamente se ha investigado el papel que esta tecnología puede jugar en cirugía de puentes entre las arterias mamaria-coronaria y la cirugía de válvulas cardíacas, en Francia, Alemania, Italia, EUA, y Canadá; actualmente se encuentran además en proceso la realización de estudios en prostatectomía radical y cirugía pediátrica.

El Proyecto Zeus se realizó del 24 de septiembre al 20 de noviembre del 2001 en el hospital Torre Médica de México, DF.

El propósito de este estudio fue investigar la seguridad y eficiencia de utilizar el sistema ZEUS (**Figura 4**) en cirugía de mínima invasión.



Fig. 3. Equipo tecnológico y humano del proyecto "Sistema D'Vinci". México D.F. (1998).

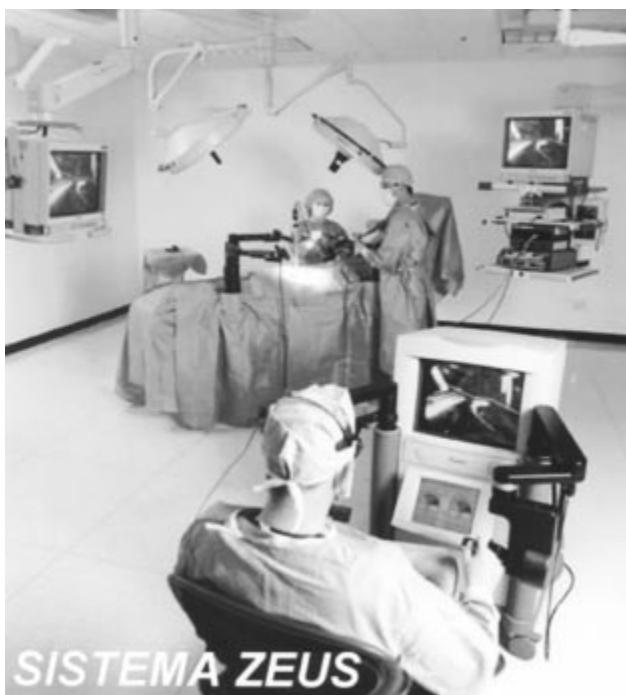


Fig. 4. Equipo tecnológico y humano del “Proyecto Zeus” México D.F. (2001).

El proyecto fue diseñado como un estudio de equivalencia estadística, prospectivo, aleatorio y controlado, para comparar resultados en colecistectomía y funduplicación tipo Nissen de 360° con técnica de mínima invasión, entre el sistema de instrumentos robóticos ZEUS, de cirugía de telepresencia, con instrumentos convencionales de cirugía laparoscópica. Seleccionamos 222 pacientes con base en criterios de exclusión/inclusión de un grupo de 551 candidatos, mediante estudios específicos; los 222 se dividieron en 2 grupos –control y Zeus- y se asignaron aleatoriamente a cada uno de cuatro equipos quirúrgicos. El 50% de los casos los intervenimos con el sistema Zeus (**Figura 4**) y el otro 50% con laparoscopía convencional asistido con robots y brazos estáticos.

Los cuatro grupos quirúrgicos dirigidos por Adrián Carbajal, de México, como investigador principal, y Enrique Nuñez, de México, Alan White, de Nueva York, USA, Carlos Gracia, de Los Ángeles, CA, USA; como co-investigadores. Cada equipo realizó 55 casos en promedio, 50% con el sistema Zeus y 50% con cirugía laparoscópica convencional. Los resultados, análisis estadístico, logística, seguimiento, etc., integran el Proyecto Zeus.

La conclusión general de esta investigación fue que la tecnología de instrumentos robóticos ZEUS es equivalente en términos de seguridad y eficiencia a los instrumentos de laparoscopía convencional. La FDA aprobó este proyecto el 24 de septiembre 2002.

Mexicanos en la robótica

Cirujanos mexicanos han participado en el proceso del desarrollo de la cirugía robótica: José Luis Mosso reali-

zó su tesis como residente del Hospital Juárez de Méjico, en cirugía robótica, al intervenir, el 12 de junio de 1996, dos colecistectomías en cerdos, controlando la cámara de laparoscopía con un robot PUMA diseñado y construido en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional y ha desarrollado, entre el 2001-2003, el robot “Tonathiu”, robot mexicano, que controla una cámara de laparoscopía con el que ya se han intervenido pacientes.

Adrián Carbajal Ramos y Harry Miller iniciaron la utilización clínica de robots auxiliares en cirugía en la clínica # 20 del Instituto Mexicano del Seguro Social en Tijuana BC, México, el 26 de junio de 1996, al operar con AESOP 1000, dos pacientes de colecistectomía laparoscópica.

La experiencia quirúrgica del equipo del Hospital Torre Médica y cirujanos asociados, realizada del 26 de julio de 1996 a septiembre del 2003, conjunta 779 pacientes intervenidos con robots (**Cuadros I y II**). A partir de septiembre del 2001, la cirugía asistida con robots y brazos estáticos es práctica rutinaria en nuestro hospital.

En el proyecto D’Vinci además de Adrián Carbajal Ramos participaron como investigadores asociados: Enrique Nuñez, Javier Benítez y José Medina; y de un grupo de enfermeras quirúrgicas e ingenieros biomédicos mexicanos, en colaboración con investigadores, ingenieros y enfermeras de USA, Bélgica y África.

En el Proyecto Zeus, dirigido por Adrián Carbajal Ramos, participaron: Enrique Nuñez como investigador y como investigadores asociados: José Mendoza, Javier Benítez, Oscar Orozco, y Salvador Valencia, además de enfermeras y enfermeros, ingenieros biomédicos, y en electrónica, en equipo con investigadores e ingenieros de USA.

En junio de 1998, Antonio García, de México, con Tomaso Falcone, realizaron en la Cleveland Clinic de USA la primera anastomosis de trompa de Falopio, en el mundo, con el sistema robótico Zeus.

Entre el año 1999 y 2002, Harry Miller de Tijuana reanunció trabajos con ESOP 2000 y ha intervenido otros 150 pacientes.

En estos mismos años, Juan Bosco Martínez se entrenaba en cirugía laparoscópica urológica asistida con robots, en la Universidad Pierre et Marie Curie en París, Francia; hoy trabaja en el hospital San José, de Zamora, Mich. y realiza prostatectomía radical laparoscópica asistida con robots.

El físico mexicano Iván Espinosa, doctorado en Robótica, desarrolló su tesis con el proyecto de un brazo robótico en la Universidad de Montpellier, Francia, y el Dr. Jorge Ángeles, ingeniero mexicano que trabaja en Quebec, es reconocido experto internacional en robótica.

A este proceso se suma la experiencia de 12 casos con Zeus conseguida por Ricardo Ordóñez, Jaime Nieto, Héctor Azuara, Luis Rengel y Adrián Carbajal Ramos en cirugía pediátrica en el Hospital Infantil de México, y es uno de los trabajos pioneros del mundo en este terreno.

Con AESOP 3000, entre 2001 y 2003, Luis Rengel ha intervenido 50 casos en Torre Médica, José Mendoza

Cuadro I.

Pacientes operados con robots (Torre Médica).
Julio de 1996 a septiembre 2003.

Tipo de robot empleado	Pacientes (n)
Operados con robots de telepresencia	279
a) Sistema D'vinci = 139	
b) Sistema Zeus = 140	
Operados con Robot AESOP 3000	500
Total	779

Cuadro II.

Pacientes operados con robots (Torre Médica).
Julio de 1996 a septiembre de 2003.

Tipo de cirugía	Pacientes (n)
Funduplicatura Tipo Nissen (360°)	348
Con sistema de telepresencia:	
a) Sistema D'Vinci	= 73
b) Sistema Zeus	= 75
c) Sistema AESOP3000	= 200
Cirugías diversas	431
Colecistectomías – apendicectomías	
Abdomen agudo – hysterectomías	
Prostatectomías – herniplastías	
Etcétera.	
Total	779

Márquez y Eduardo Guereque, han intervenido otros 60 casos en Cd. Juárez; Hidromiro Murrieta, 30 casos en Xalapa, Ver., Juan Bosco Martínez y Leonardo Cervantes 15 casos en Zamora, Mich., Oscar Orozco cerca de 50 casos en Guadalajara, Jal; y Luis Sánchez Brito y Sergio Rojas de Puebla, otros 60 casos.

Las siguientes fronteras

Los proyectos de cirugía de telepresencia, los resultados obtenidos, y la apertura a otras especialidades han permitido un acelerado proceso de aprendizaje del papel que puede desempeñar la digitalización del movimiento. El siguiente paso obvio es, a primera vista, la miniaturización de brazos robóticos, pues el fantástico terreno de la ingeniería genética brinda la oportunidad de incorporar la experiencia ganada a la micro y nanomanipulación y, eventualmente, será el campo más promisorio para esta tecnología.³¹⁻³⁹

Conclusión

Con estas bases no resulta difícil trazar imaginariamente las líneas de desarrollo y hacerlas coincidir en alguno de los años de la siguiente década, donde esta experiencia que en el año 2003 llamamos cirugía robótica, las generaciones del tercer milenio, posiblemente conocerán, como ingeniería quirúrgica, nanocirugía o nanopresencia.^{38,39}

Referencias

1. Orwell G. 1984 Barcelona: Destinos; 1952.
2. Gibson W. *Neuromante*. Madrid: Minotauro; 1984.
3. Rosheim ME. *Robot evolution: the development of anthropobotics*. New York: Wiley Interscience; 1994.p.1-36;335-7.
4. Chimal C. *La cibernetica*. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. (CONACULTA); 1999. p.1-62.
5. Sackier JM, Wang Y. Robotically assisted laparoscopic surgery. From concept to development. *Surg Endosc* 1994; 8: 63-6.
6. Pimentel IK, Teixeira K, eds. *Virtual reality: through the new looking glass*. New York: Intel, Windcrest, and McGraw-Hill; 1993. p. 1-51.
7. Rheingold H. *Realidad virtual*. Madrid: Gedisa; 1994. p. 204-25.
8. Charniak E, McDermott D, eds. *Artificial intelligence*. Massachusetts: Addison-Wesley, Reading, 1986. p. 6-8.
9. Durlach NI, Mavor AS, eds. *Virtual reality: scientific and technological challenges*. Washington: National Academy Press; 1995. p. 111-87.
10. Wood R, Cochran W. *Stereovideoscopy gives surgeons normal vision*. Photonic Spectra. Sept. 1993.
11. Jones DB, Brewer JD, Soper NJ. The influence of three-dimensional video systems on laparoscopic task performance. *Surg Laparosc Endosc* 1996; 6: 191-7.
12. van Bergen P, Kunert W, Bessell J, Buess GF. Comparative study of two-dimensional and three-dimensional vision systems for minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 1998; 12: 948-54.
13. Mueller MD, Camartin C, Dreher E, Hanggi E. Three-dimensional laparoscopy. Gadget or progress? A randomized trial on the efficacy of three-dimensionalsubik laparoscopy. *Surg Endosc* 1999; 13: 469-72.
14. Carballo RA. *La cirugía en el tercer milenio*. En: Heredia M, Bautista G, Fernández O, Fuentes JL, eds. Cirugía de invasión mínima 2^a ed. México: Intersistemas; 1999; p. 395-400.
15. Noar MD. Endoscopy simulation: a brave new world? *Endoscopy* 1991; 23: 147-9.
16. Satava RM. Virtual reality surgical simulator: The first steps. *Surg Endosc* 1993; 7: 203-5.
17. Boppart SA, Deutsch TF, Rattner DW. Optical imaging technology in minimally invasive surgery. Current status and future directions. *Surg Endosc* 1999; 13: 718-22.
18. Sackier MJ. Future horizons of minimally access surgery. *Probl Gen Surg* 1991; 8: 507-10.
19. Satava RM. High tech surgery: speculations on future directions. In: Hunter JG, Sackier JM, eds. *Minimally invasive surgery*. Philadelphia: McGraw-Hill; 1993. p. 339-47.
20. Green PS, Hill JW, Satava RM. Telepresence: dexterous procedures in a virtual operating field. *Surg Endosc* 1991; 57: 192.
21. Green SP, Hill JW, Gorfu Y, Jensen JF. Telepresence: advance teleoperator technology for minimally invasive surgery. *Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality*. San Diego CA. June 1-2, 1992.
22. Sackier J. The next wave in minimally invasive surgery: robotics. *Gen Surg Laparosc News*. April 1994.
23. Sackier J. New technology and future directions in endoscopic surgery. *Surg Endosc* 1994; 8: 535.
24. Falcone T, Goldberg J, García-Ruiz A, Margossian H, Stevens L. Full robotic assistance for laparoscopic tubal anastomosis: a case report. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 1999; 9: 107-13.
25. Green PS, Hill JW, Jensen JF. *Telepresence surgery*. Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology. May-June 1995.p.324-9.
26. Green PS, Jensen JF, Hill JW, Shah A. *Mobile telepresence surgery*. Proceedings of 2^o Annual International Symposium. Medical Robotics and Computer Assisted Surgery. Baltimore, MA Nov 4-7, 1995. p. 97-103.

27. Satava RM. Medicine 2001. The king is dead. In: Satava M, Morgan K, Sieburg HB, Mattheus R, Christensen JP. *Interactive technology and the new paradigm for healthcare*. Amsterdam: IOS Press and Ohmsha, 1995; p. 334-9.
28. Satava R. *Cybersurgery: advanced technologies for surgical practice*. New York: Wiley-Liss; 1998. p. 99-176.
29. Schenker P, Kim WS, Bejczy A. Remote robotic operations at 3000 miles-dexterous telemanipulation with time-delay via calibrated virtual reality task display. *Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality II*. San Diego CA. Jun 27-30, 1994.
30. Himpens J, Leman G, Gadiere GB. Telesurgical laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 1998; 12: 1091.
31. Marescaus J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* 2001; 413: 379-80.
32. Licini A, Lirici M, Rovetta A. Telerobotic and minimal invasive surgery: feasibility and present limits. *Surg Endosc* 1994; 8: 535.
33. Schurr MO, Breitwieser H, Melzer A, Junert W, Schmitt M, Voges V, et al. Experimental telemanipulation in endoscopic surgery. *Surg Laparosc Endosc* 1996; 6: 167-75.
34. Cubano M, Poulose BK, Tlamini MA, Stewart R, Antosek LE, Lentz R, et al. Long distance telementoring. A novel tool for laparoscopy aboard the USS Abraham Lincoln. *Surg Endosc* 1999; 13: 673-8.
35. Lewis MA, Bekey GA. Automation and robotics in neurosurgery: prospects and problems. In: Apuzzo ML, ed. *Neurosurgery for the third millennium*. American Association of Neurological Surgeons; 1992. p. 65-80;91-102.
36. Ballantyne GH. Robotic surgery, telerobotic surgery, telepresence, and telementoring. Review of early clinical results. *Surg Endosc* 2002; 16: 1389-402.
37. Kassell NF, Hunter J, Graves S. Telepresence in neurosurgery: The integrated remote neurosurgical system. In: Morgan KS, Hoffman HM, Stredney D, Weghorst SJ (eds). *Medicine meets virtual reality: Global healthcare grid*. IOS Press and Ohmsha, Amsterdam 1997, pags 411-9.
38. Crandall BC. *Nanotechnology: Molecular speculations on global abundance*. The MIT Press (Massachusetts Institute of Technology). Cambridge, MA. 1996, pags. 1-80.
39. Schuler G. The human transcript map. *Science* 1996, 247: 547-62.

