

# Medicina y Robótica

Dr. Marcos Berry S.  
Departamento de Cirugía Adultos.  
Unidad de Cirugía Bariátrica.  
Clínica Las Condes.

Dr. Cristián Martínez B.  
Fellow en Cirugía Bariátrica.  
Clínica Las Condes.

## Resumen

Han pasado 20 años desde el ingreso de la robótica a la sala de operaciones y al campo de la Medicina. En estos años se ha realizado un progreso significativo en integrar la tecnología robótica a distintas especialidades de la Medicina. En particular al área de la Cirugía en asociación con la instrumentación quirúrgica mínimamente invasiva. En este artículo se revisan las principales aplicaciones de los robots en las distintas especialidades de la Medicina, así como las necesidades requeridas para la implementación de un programa robótico quirúrgico y una proyección de este campo en el futuro.

El término robot se utilizó por primera vez en 1923, por el escritor checo Karel Capek en su drama "Rossum Universal Robots". La palabra deriva del checo *robota* (labor tediosa o servil) (1). Posteriormente, en la clásica novela "I, Robot" de Isaac Asimov se plantean las "Tres reglas de la robótica":

1. Un robot no puede dañar a un ser humano, o a través de la inacción, permitir que uno sea dañado.
2. Un robot debe obedecer todas las órdenes dadas por humanos, excepto cuando

dichas órdenes puedan contradecir a la primera regla.

3. Un robot debe proteger su propia existencia, excepto cuando por hacer eso contradiga a la primera y segunda regla.

Una definición más actualizada de un robot sería: "una máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas sólo a las personas".

### ROBÓTICA EN LA HISTORIA

El primer manipulador industrial programable fue desarrollado en los años 40. Con el desarrollo de la tecnología computacional en los 50, Devol patentó el primer manipulador con "playback memory" en 1954, evento que marca el inicio de la era robótica moderna. Desde esa época se han integrado los robots a diferentes campos, entre los cuales se encuentran el manejo de materiales peligrosos a distancia, la construcción de automóviles, la exploración espacial, el campo militar, la exploración oceanográfica y la educación a distancia (2), entre otras.

Resumen

## MEDICINA Y ROBÓTICA

En medicina, los robots se han aplicado principalmente en el área de la cirugía, traumatología, oftalmología, telemedicina e imagenología.

Con el desarrollo de la cirugía invasiva mínima y laparoscópica desde fines de los años 80, los cirujanos no necesitan colocar sus manos dentro del cuerpo humano para realizar la operación, y se apoyan más en los avances de la tecnología de imágenes e instrumental endoscópico adecuado. En este nuevo escenario, los robots aparecen refinando aun más las capacidades de la cirugía moderna, permitiendo realizar cirugías con mayor precisión y llegar a lugares en los que la mano humana tiene limitaciones.

## CIRUGÍA ROBÓTICA: PRESENTE Y FUTURO

En el área de la cirugía invasiva mínima, el cirujano tiene ventajas y desventajas en relación a los robots, como se muestra en la Tabla 1 (3):

que la cirugía robótica asistida podrá superar la mayoría de estas dificultades. Incluso algunos cirujanos como Ballantyne y Satava (4) han sugerido que en la historia de la evolución quirúrgica, la cirugía laparoscópica es una tecnología “transicional” que conducirá a la cirugía robótica. Hoy en día, sin embargo, se puede ver a los robots como una “extensión o mejoramiento de las capacidades humanas”, más que un reemplazo a los cirujanos. Por ejemplo, en la cirugía de retina se requiere de una posición precisa del láser, dentro de un objetivo de 25 micrones para evitar dañar a los vasos retinales. Esto se ve limitado ya que la mano humana no puede guiar un instrumento en forma precisa a un rango menor a 100 micrones, además del movimiento natural del ojo humano de 200 Hz. De esta forma, se han diseñado sistemas robóticos para sobreponer esta deficiencia humana.

Se han descrito tres categorías de robots (5):

**1) Pasivos:** rol limitado, bajo riesgo. Por ejemplo: ubica y mantiene en posición algunos instrumentos quirúrgicos.

*clavo*”, en los que el robot manipula los instrumentos, pero es el cirujano el que le indica cómo hacerlo.

Entre los robots pasivos que permiten la realización de cirugías relativamente simples, están las biopsias estereotáxicas, en las que el neurocirujano alimenta las características del tumor a operar, en un sistema computacional que controla un robot encargado de introducir la aguja para la toma de la muestra de tejido sospechoso.

Algunos de los robots que actualmente se utilizan se mencionan en la Tabla 2.

### Cyber Knife

Accuray (CA) ha desarrollado este sistema de imágenes estereotáctica que se utiliza para irradiar en tiempo real una variedad de tumores cerebrales e incluso en órganos deformables como pulmón. Es autónomo durante el procedimiento.

### Robodoc

Creado por IBM. Se trata de un sistema experimental que permite implantar en un perro, una prótesis de cadera con mayor superficie para su fijación.

### Probot

El primer robot del tipo activo utilizado en humanos es el Probot, creado por el Imperial College en Londres. Este Robot ayuda a realizar una resección de tejido benigno de la próstata; incorporando en su punta un sistema de ultrasonido que le permite crear una imagen tridimensional de la próstata. Así el cirujano selecciona qué partes del tejido debe cortar el robot.

### Aesop

Robot activado por voz conocido como AESOP (siglas en inglés de Sistema Óptimo de Posicionamiento Endoscópico Automatizado), que actualmente se utiliza en forma rutinaria en centros especializados en cirugía laparoscópica. Fue desarrollado por Computer Motion (hoy Intuitive Surgical), y aprobado para uso en humanos por la FDA en 1994. Consiste en un brazo mecánico conectado a una computadora, que reconoce órdenes verbales sencillas y que

**TABLA 1 / Ventajas y desventajas cirujano vs robot**

	Cirujano	Robot
<b>Ventajas</b>	Versátil	Es Repetitivo y reproducible
	Juicio clínico y experiencia	Estable y preciso
	Dexteridad manual a escala mm-cm	Diversos sensores, dexteridad a escala micrón- mm
	Procesamiento rápido e integrado de información cualitativa	Maneja múltiples tareas cuantitativas
<b>Desventajas</b>	Temblor	Caro
	Fatiga	Complicado el “setup”
	Impreciso	Tamaño
	Variable en habilidad y estado emocional	No versátil
	Inefectivo a escala sub mm	Tecnología aún en su infancia

En la cirugía laparoscópica existen algunas dificultades con los instrumentos actuales: poca articulación de muñeca, sin capacidad háptica (táctil), efecto paradójico, poca dexteridad manual, pérdida de visión 3D y pobre ergonomía que hacen que sólo los procedimientos más simples puedan realizarse en forma masiva. La promesa es

**2) Restringidos:** mayor autonomía y realizan tareas más invasivas, pero aun restringidos a la parte esencial del procedimiento.

**3) Activos:** el robot está íntimamente involucrado en el procedimiento, con responsabilidad supervisada y riesgo.

Dentro de estos últimos, existe lo que se conoce como los sistemas “maestro - es-

**TABLA 2 / Robots en Medicina y su rol.** (Arroyo Carlos, Cirugía Robotica, Revista Elementos, Ciencia y Cultura; 58:12 Abril-Junio, 2005 Página 13).

ROBOT	TIPO	APLICACIÓN	MÁS INFORMACIÓN
Zeus	Maestro - esclavo	Cirugía de corazón, próstata, vesícula	<a href="http://www.computermotion.com">www.computermotion.com</a>
Da Vinci	Maestro - esclavo	Cirugía de corazón, próstata, vesícula	<a href="http://www.intuitivesurgical.com">www.intuitivesurgical.com</a>
Inch - worm	Activo autónomo	Colonoscopia	<a href="http://www.ntu.edu.sg/home/mrcas95/groups/crobot/locomoti.html">www.ntu.edu.sg/home/mrcas95/groups/crobot/locomoti.html</a>
Probot	Activo	Cirugía benigna de próstata	<a href="http://www.me.ic.uk/case/mim/index.html">www.me.ic.uk/case/mim/index.html</a>
Robodoc	Activo	Prótesis de cadera	<a href="http://www.robodoc.com">www.robodoc.com</a>
CASPAR	Activo	Prótesis de rodilla	<a href="http://www.orthomaquet.de">www.orthomaquet.de</a>
Minerva	Activo	Neurocirugía	<a href="http://www.foresight.org/nanomedicine/suegery.html">www.foresight.org/nanomedicine/suegery.html</a>
AESOP	Activo	Manejo de cámara voz activado	<a href="http://www.computermotion.com">www.computermotion.com</a>

el robot traduce en movimientos de la cámara laparoscópica. El AESOP libera un brazo del cirujano disminuyendo así el número de asistentes requeridos para la cirugía. Esto tiene la ventaja de que la imagen de la cirugía no se mueve ni tiembla como lo haría un cirujano que sostiene una cámara durante un periodo largo de tiempo. Su rol es restringido y su costo promedio es de US\$ 90,000 a US\$100,000.

El año 2003, se realizó la primera cirugía robótica asistida con Aesop en un paciente en nuestra Institución.

#### NeuroMate

Es una versión moderna de Neurocirugía estereotáctica (Integrated Surgical Systems) con moderado nivel de autonomía.

#### Da Vinci (6)

Robots de una nueva generación son los sistemas maestro-esclavo, que incluyen a los robots Da Vinci y Zeus (Intuitive Surgical). Estos sistemas permiten realizar lo que conocemos como “cirugía asistida por robot” (teleoperado), en la cual el cirujano utiliza brazos mecánicos que repiten los movimientos que él realiza en una consola. La consola computarizada tiene un visor que transmite la imagen tridimensional, que es captada por la cámara laparoscópica ubicada en uno de los brazos mecánicos. El equipo consta de un sistema maestro con un conjunto de manivelas que se adaptan al dedo pulgar e índice del cirujano, con los cuales con-

trola el movimiento de los brazos mecánicos. Los brazos mecánicos (esclavos) son tres, uno para sostener la cámara laparoscópica, y otros dos que manipulan los instrumentos quirúrgicos (tijeras, pinzas, electrocauterios, porta-agujas, etcétera). Una característica importante de estos instrumentos es su libertad de movimiento en seis a siete diferentes ángulos, que intenta emular los arcos de movimiento efectuados por la articulación de la muñeca humana. Este es un gran avance si consideramos que toda la cirugía laparoscópica tiene como limitante que los movimientos se realizan sin poder flexionar los instrumentos, siendo el cirujano el que debe adaptarse a estas restricciones durante la cirugía. Sin embargo, el nivel de autonomía es aun bajo y es dependiente del cirujano “maestro”. Los movimientos de los instrumentos por los brazos mecánicos se realizan en tiempo real. Esto tiene una importancia fundamental para evitar un daño en el paciente, si consideramos que la cirugía implica movimientos rápidos y delicados. La tecnología que se utiliza en estos instrumentos incluye la articulación tipo muñeca (Endowrist, Figura 1), que permite que se flexione sobre su eje, dando libertad de movimiento al instrumental quirúrgico de más de tres ejes. Además, el sistema computacional tiene la capacidad de escalar los movimientos desde 2:1 hasta 5:1, así como

de filtrar el temblor del cirujano, haciendo posible la realización de cirugías con desplazamientos mínimos del cirujano y sin las restricciones debidas a su pulso. Existe además la posibilidad de coordinar los movimientos de la cámara e instrumental con los movimientos del paciente. Esto es especialmente útil cuando se trata de cirugía cardíaca, en la que no se requiere que el corazón del paciente se detenga. Se pueden aplicar suturas en el corazón mientras late, puesto que el cirujano -gracias a los filtros de la computadora- ve una imagen estática del corazón, así mismo esto permite colocar suturas para la realización de by-pass coronario y otras cirugías de corazón.

El sistema Da Vinci aprobado desde el



FIGURA 1: Endowrist, reproduce movimientos de la mano humana.



FIGURA 2: Sistema Da Vinci.

año 2000 por la FDA en EEUU, se ha utilizado en un gran número de procedimientos invasivos mínimos, destacando: cirugías cardíacas, abdominales, neuroquirúrgicas y urológicas (este sistema robótica aun no está disponible en Chile).

### FUTURO DE LA CIRUGÍA ROBÓTICA

A medida que los cirujanos se entrenan con los nuevos robots, nuevas áreas de la cirugía, como la bariátrica y la cirugía plástica, han aparecido como áreas de desarrollo. El hecho de darle al cirujano el uso de dos brazos con dexteridad absoluta, ha permitido que se conviertan en sus propios asistentes. Así también, se están comenzando a usar robots asociados a simuladores para contribuir al entrenamiento en forma segura de futuros cirujanos, acortando su curva de aprendizaje.

Una barrera mayor la constituye el costo de estos robots. Por ejemplo, el sistema Da Vinci cuesta cerca de US\$1 millón. Una segunda dificultad es el tamaño y el gran espacio que se requiere para ellos, además del tiempo que necesitan para iniciar su uso en el pabellón. Aún se requiere mayor desarrollo en la seguridad del uso de los robots.

Sin embargo, y a pesar de su alto costo, las ventajas de la cirugía robótica parecen prometedoras, ya que permitirá, por ejemplo, que un mismo cirujano controle

varios robots en diferentes quirófanos, o incluso efectuar tele cirugías, en las que el cirujano no se encuentre ni siquiera cerca de la sala de cirugía.

En lo que respecta al desarrollo de los robots, en un futuro próximo con la mejora e integración de las imágenes, navegación y capacidades sensoriales, se diseñarán instrumentos que puedan realizar un mayor número de angulaciones. Esto implica una mayor libertad de movimiento durante la cirugía lo que permitiría superar incluso movimientos restringidos a la mano del hombre. También se espera una tendencia a disminuir el tamaño de los brazos robóticos (miniaturización), al nivel de micro manipulación de órganos. Por otra parte, podrían usarse guantes con sensores para detectar los movimientos de las manos del cirujano, y si se agrega un visor que transmita una imagen interior del paciente, se llevaría a cabo una cirugía en una realidad virtual, con el cirujano trabajando con las manos en el aire y pequeños robots realizando los procedimientos quirúrgicos en el cuerpo del paciente. Así mismo se podrán utilizar "catéteres activos" con gran nivel de control y tele manipulación, para ello deberá avanzarse más en sistemas mecánicos micro-eléctricos (MEMS). Los MEMS son microsistemas integrados que combinan componentes eléctricos y mecánicos (7). Estos sistemas pueden sentir, controlar y a nivel microscópico, funcionar indivi-

dualmente o en equipo para producir un efecto a macro escala. Algunos podrán incluso viajar por el torrente sanguíneo y reparar ADN a nivel celular o incluso molecular (nanotecnología) para tratar enfermedades o actuar como anticuerpos contra virus o bacterias. Esta era de micro robots está cercana. La próxima generación de robots deberá perfeccionar las áreas de imágenes y manipulación (8). El rol de los cirujanos consistirá en: educar y colaborar con los técnicos e ingenieros robóticos, y encontrar las aplicaciones de esta nueva tecnología a las distintas especialidades.

Todavía no hay robots que sustituyan totalmente al cirujano, sin embargo, es altamente probable que llegará el momento en que los robots tendrán un importante papel en la medicina. Podrán detectar y reparar las anomalías en el cuerpo humano, actuando como un robot médico cirujano (9).

### IMPLEMENTANDO UN PROGRAMA ROBÓTICO QUIRÚRGICO

Para poder desarrollar un programa robótico quirúrgico se requiere una alianza y compromiso de la Administración del Centro Hospitalario y del Departamento Clínico, para asegurar el éxito de éste.

La evolución de la cirugía cardíaca asistida por robots es un ejemplo de evolución en esta área. Desde los años '90, la mejora en la anestesiología, en la técnica de bypass cardiopulmonar y en las unidades de cuidados intensivos, permitieron un aumento de la cirugía cardíaca en todo el mundo. Sin embargo, aún se realizaba la cirugía a través de una esternotomía media. Durante estos últimos años se han ido perfeccionando los procedimientos de By Pass Aorto Coronario Directo Mínimamente Invasivo (MIDCAB) con la ayuda del brazo robótico AESOP y luego con la aparición del equipo Da Vinci en estos últimos cinco años, que introdujo la primera posibilidad real de cirugías cardíacas mínimamente invasiva con tórax cerrado. Para desarrollar un sistema de entrenamiento en cirugía robótica se deben se-



FIGURA 3: Consola Interface - Brazos Robóticos.



guir las siguientes etapas (10):

**a) Planificación y liderazgo:** Revisión acuciosa y crítica de la literatura antes de ofrecer esta tecnología a los pacientes. Se debe educar al personal de enfermería de pabellón en esta nueva tecnología. Establecer claramente con la administración cuáles son las razones para desarrollar este programa. El cirujano líder del programa debe establecer claramente que el objetivo más importante es facilitar las cirugías endo-laparoscópicas con la ayuda robótica, para beneficio de los pacientes. Adicionalmente, traerá otros beneficios como son investigación, publicaciones científicas, participación como centro de entrenamiento de otros cirujanos, además de reconocimiento para la institución.

**b) Entrenamiento del equipo quirúrgico:** El entrenamiento del equipo es la parte inicial más importante. Se debe seguir un protocolo estricto. El equipo incluye: cirujano master (trabaja en la consola), cirujano asistente (al lado del paciente), instrumentista quirúrgico y pabellonera. Se debe establecer el cumplimiento de un currículo de estudio definido. Este debe incluir diferentes etapas, entre las cuales se encuentran: laboratorio inanimado, laboratorio animal, laboratorio con cadáveres a niveles básico y avanzado, finalizando con la observación de cirugías en vivo. Es importante nunca saltarse etapas sin dominar a la perfección la etapa anterior. Teniendo esto presente, la mayoría de los centros hospitalarios podría iniciar un programa robótico quirúrgico con excelentes resultados en relación al beneficio para los pacientes.

### Principales aplicaciones de cirugía robótica en distintas especialidades quirúrgicas:

#### 1.-CIRUGÍA ROBÓTICA ABDOMINAL

Es un campo aún en desarrollo, asociado al buen desempeño de los materiales laparoscópicos actuales. Su alto costo no ha permitido su desarrollo en cirugía abdominal como en otras áreas (11-12),

sin embargo, la demanda por parte de cirujanos y pacientes por procedimientos mínimamente invasivos, el desarrollo computacional y la ingeniería robótica; junto a la necesidad de ampliar el campo visual limitado a dos dimensiones, el grado de libertad de movimiento del material laparoscópico y la percepción de resistencia de los tejidos, han permitido su desarrollo incipiente en este campo y el desarrollo del actual sistema quirúrgico Da Vinci.

#### Características del equipo Da Vinci:

-Visualización por dos cámaras de alta resolución que permiten visión en 3D.

-Tres brazos articulados que permiten 7 grados de libertad de movimiento similar a la muñeca humana.

-Digitalización de movimientos que permite reducir imprecisiones y amplificar movimientos.

Sus limitantes incluyen su alto costo y mantención, limitándolo a instituciones académicas con énfasis en esta área de desarrollo. Ocupan un espacio significativo en la sala de operaciones y posee una limitada capacidad docente, por la posibilidad de entrenar sólo una persona por vez.

#### APLICACIONES CLÍNICAS:

•**Cirugía antireflujo:** Es la única cirugía donde se dispone de evidencia clínica clase 1 con dos trabajos en la literatura, encontrándose que la técnica es absolutamente reproducible pero con un mayor tiempo operatorio y costos más elevados. El grupo del J. Hopkins USM, en el grupo de paciente con hernias hiatales significativas asociadas a Reflujo Gastroesofágico (RGE), ha descrito una mejor reparación de estos defectos que por vía laparoscópica convencional, lo que se podría verse asociado a una menor recurrencia de la enfermedad. Sin embargo, sus hallazgos no son concluyentes (13-14).

•**Cirugía bariátrica:** Procedimiento extremadamente desafiante, por lo que muchos grupos exploran su potencial. Dos grupos, uno de ellos con más de 100 pacientes, han informado excelentes resultados, con ausencia de filtraciones y sin mortalidad, mostrando ventajas en

la confección de anastomosis manuales gastroyeyunales, confección de bolsas gástricas más pequeñas y eliminación de las dificultades derivadas de paredes abdominales extremadamente gruesas, al combinar instrumentos más rígidos y mayor poder (15-16).

•**Cirugía vesicular:** Se han reportado resultados comparables a la cirugía tradicional. La desventaja está dada por un tiempo quirúrgico levemente mayor y su beneficio lo constituiría la capacidad de una mejor visualización en 3D de los componentes del triángulo de Calot. Lo anterior permitiría menor instrumentación y mejor definición de las estructuras, lo que llevaría un menor índice de lesiones del árbol biliar comparada con la colecistectomía laparoscópica convencional (17-18).

•**Hígado:** Aún cuando la cirugía robótica se encuentra poco desarrollada en este campo, nuevos avances tecnológicos de procesamiento y superposición de banco de imágenes preoperatorias y en tiempo real, permitirían a los cirujanos visualizar el parénquima hepático más allá de la superficie para facilitar una disección más segura (19).

•**Páncreas:** Se han reportado desde el año 2003 resecciones de tumores neuroendocrinos de la cola de páncreas con preservación de bazo, enucleaciones de tumores pancreáticos y asistencia robótica en la confección de hepático y pancreatoyeyunostomias posteriores a pancreatoduodenectomias laparoscópicas. Sin embargo, la incapacidad del robot Da Vinci para precisar las características de la región retropancreática y la cuidadosa disección de la porta de esta superficie podrían impedir su aplicación segura (20-21-22).

•**Bazo:** La capacidad del robot Da Vinci para precisar con mayor definición y magnificación la arquitectura hilar y la relación con el páncreas asociado al uso de disectores ultrasónicos y la amplia maniobrabilidad de sus brazos articulados, hacen especialmente útil esta vía de abordaje, con tiempos operatorios comparables a otras técnicas (23).

•**Intestino delgado:** Si bien la experiencia es poca, algunos grupos han encon-

trado utilidad en resecciones intestinales asociadas a enfermedad de Crohn, donde la capacidad robótica de examinar el intestino en toda su longitud, en busca de segmentos alterados, presenta grandes ventajas. Además de la capacidad de realizar suturas, ha mostrado ser útil en la confección de yeyunostomias de alimentación (18-24).

•**Colon:** Reservada en la actualidad principalmente a patología benigna y resecciones de pólipos no factibles de ser resueltos por vía endoscópica. La cirugía robótica ha permitido realizar colectomías parciales y totales, rectopexias, resecciones anteriores bajas y disecciones abdomino-perineales en especial frente a pelvis estrecha, donde la cirugía laparoscópica asistida por robot juega un papel fundamental, con índices de complicaciones muy favorables comparados con series históricas, especialmente frente a cirugía del prolapso rectal.

Estudios que han comparado la cirugía laparoscópica versus robótica en colon, sólo han demostrado diferencia en cuanto a tiempo operatorio y costos (25-26).

En la actualidad, la validación de la cirugía laparoscópica oncológica en colon, permite a la cirugía robótica jugar un nuevo rol en este campo (27).

•**Glándula suprarrenal:** No existen estudios comparativos entre cirugía abierta o adrenalectomía laparoscópica. Series de más de 30 adrenalectomías robóticas han descrito una mayor facilidad en identificar los pequeños vasos adrenales y en especial frente a la adrenalectomía derecha, un mayor control de la vena adrenal derecha en su llegada a la vena cava inferior (28-29).

## 2.- CIRUGÍA BARIÁTRICA ASISTIDA POR ROBOT

Su uso se encuentra limitado, especialmente por el escaso número de instituciones dedicadas a la cirugía bariátrica que disponen de tecnología robótica.

El primer procedimiento en cirugía robótica bariátrica fue realizado en 1999. Desde la fecha se ha descrito su uso en

banding gástrico ajustable, bypass gástrico en Y de roux y derivación biliopancreática con switch duodenal laparoscópico asistido por robot (30-31-32).

Cerca de 100 casos de bypass gástrico laparoscópico asistido por robot se han documentado en la literatura. De estos, el índice de filtración fue 0%, estenosis entre 1-3% y algunas complicaciones menores derivadas del equipo en particular y de la implementación de la técnica (30). Su utilidad actual se reserva para la confección de la gastro-yeyuno y entero-entero anastomosis, donde la capacidad para realizar una anastomosis de micropresión bajo visión directa, podría disminuir los índices de filtración y estenosis en especial en pacientes superobesos, en los cuales el campo visual se encuentra más limitado y en los que la resistencia de la pared puede transformarse en un serio impedimento.

En relación al banding gástrico, luego de la instalación de trócares bajo visión directa, el procedimiento intrabdominal es realizado íntegramente con la asistencia del equipo robótico. Aun cuando los resultados inmediatos y a largo plazo comparados con la técnica laparoscópica convencional son similares, la técnica robotizada mostró un tiempo operatorio significativamente mayor (30).

Con respecto a la derivación biliopancreática con switch duodenal asistido por robot, su utilidad ha quedado limitada por el momento, a la confección de la anastomosis duodeno-yeyunal.

## 3.- NEFRECTOMIA DE DONANTE ASISTIDA POR ROBOT

Luego de la aprobación para su uso por la FDA en el año 2000, el robot Da Vinci fue utilizado por primera vez el mismo año para practicar la primera nefrectomía robótica mano asistida, mostrando ventajas considerables en relación a potenciar tareas normalmente no presentes en la nefrectomía laparoscópica convencional, maximizando teóricamente los beneficios y disminuyendo los riesgos del donante (33).

Luego del estudio y preparación rutinaria, el paciente es posicionado en decúbito lateral derecho para planificar la nefrectomía izquierda, realizando una laparotomía media infraumbilical que permite el uso de un Lap-Disc Hand Port y posteriormente la instalación de los trocares para los brazos del sistema Da Vinci (33). Este sistema ha mostrado ser particularmente útil en la disección del polo superior del riñón de sus adherencias, grasa retroperitoneal y del polo inferior del bazo, debido a la facilidad de movimiento otorgado por sus brazos articulados (33). El advenimiento de la nefrectomía de donante por vía laparoscópica ha contribuido a un aumento del número de donantes vivos de riñón con las consiguientes ventajas para los pacientes en lista de espera, constituyendo más del 85% de los procedimientos de nefrectomía de donante en EE.UU. (34-35). Lo anterior, asociado al uso del sistema Da Vinci con todas sus ventajas técnicas y el uso del dispositivo mano-asistido, han incrementado los niveles de seguridad y características del injerto, al permitir un menor daño del órgano extraído, posibilidad de rápido control vascular en caso de lesiones y menor tiempo de isquemia caliente (36), constituyendo la asociación ideal entre la percepción táctil y cirugía mínimamente invasiva. Si bien es un procedimiento seguro y efectivo, aun se necesitan estudios comparativos para determinar cuál es más seguro y costo-efectivo.

## 4.- CIRUGÍA ROBÓTICA EN GINECOLOGÍA

El primer procedimiento laparoscópico en ginecología utilizando un robot, se realizó en 1998 y consistió en una anastomosis tubaria exitosa. Estudios posteriores han confirmado la factibilidad técnica de realizar este procedimiento, pero sin mayores beneficios a corto plazo y un mayor tiempo operatorio al compararlo con la técnica laparoscópica habitual.

En relación a miomectomías, anexectomía e hysterectomías, tanto para lesiones

malignas como benignas, algunos trabajos con series pequeñas han informado lo siguiente: miomectomías con piezas operatorias de 246 gr en promedio, tiempos operatorios de 256 minutos, escasa pérdida sanguínea y estadías post operatorias de 1,2 días. En cambio, en la realización de histerectomías en las cuales la mayoría incluye un tiempo vaginal, con salpingooforectomía bilateral frente al diagnóstico de cáncer, los tiempos operatorios presentados van desde las 2,5 a 10 horas de cirugía, con pérdidas sanguíneas desde 50 a 1500 ml y piezas operatorias de peso variable (40-41). Es probablemente en el manejo del prolapso post histerectomía, con la realización de la sacro-colpopexia, donde los beneficios de una técnica mínimamente invasiva son evidentes y donde la asistencia robótica juega un rol primordial según la experiencia de la Clínica Mayo donde el robot es utilizado exclusivamente para realizar la sutura de la malla entre vagina y promontorio con buenos resultados post operatorios inmediatos (42).

### 5.- PROSTATECTOMÍA LAPAROSCÓPICA ASISTIDA POR ROBOT (PRLAR): SU ROL EN EL MANEJO QUIRÚRGICO DEL CÁNCER DE PRÓSTATA LOCALIZADO

El control tumoral, la continencia y la función eréctil constituyen las principales consideraciones en los paciente sometidos a prostatectomía radical. Es en cada una de estas áreas donde la prostatectomía radical laparoscópica asistida por robot tiene la capacidad de ser mejorada. El uso de PRLAR permitiría la identificación más clara y precisa de la cápsula prostática y las estructuras neurovasculares. Sin embargo, estudios comparativos en relación a la técnica abierta no han sido concluyentes respecto de una menor frecuencia de márgenes positivos al estudio histopatológico (43-44).

En relación a la incontinencia urinaria, distintas series reportan que ésta es una complicación rara, con incontinencia severa en menos del 2% de los casos (45),

sin embargo algunos reportes informan de algún grado de incontinencia en un tercio de los pacientes sometidos a cirugía abierta. El uso de asistencia robótica, al permitir una disección más fina de la próstata y del tejido muscular del esfínter uretral, junto a una hemostasia más precisa que evitaría potenciales daños al esfínter, podrían favorecer un menor índice de incontinencia e incluso una recuperación post operatoria más rápida de ésta. Aunque la disección prostática con márgenes quirúrgicos negativos con preservación neural es factible (46), la extensión extracapsular hacia el tejido neurovascular puede requerir disección de los nervios circundantes. Estos, muchas veces son difíciles de identificar y su curso puede ser variable, confundiendo con el tejido vascular y fibroso de la región. Este daño puede ser producido por incisión directa, durante maniobras de hemostasia o por tracción. La prostatectomía laparoscópica asistida por robot podría mejorar todas estas condiciones de riesgo. Lamentablemente, no existen series que comparen ambas técnicas, dado a la ausencia de uniformidad para evaluar el grado de disfunción eréctil según distintas publicaciones.

### 6.- ESTADO ACTUAL DE LA CIRUGÍA CARDIACA ASISTIDA POR ROBOT

La aparición de sistemas de canulación femoral para by pass cardiopulmonar, el uso de sistemas endoaórticos de oclusión y la cardioplejia en los años 90, asociado a la aparición de nuevos sistemas robóticos y de visión tridimensional, permitieron en 1998 la realización del primer by pass coronario sin abrir la cavidad torácica (47).

En la actualidad se dispone del sistema de cirugía robótica-asistida Da Vinci. Este dispositivo y sus características ya expuestas, utilizando minitoracotomías de acceso para los brazos robotizados y sistemas de canulación-perfusión transfemorales que no interfieran en el campo operatorio, ha permitido la realización de

múltiples cirugías, tales como revascularización miocárdica de uno y más vasos, cirugía de válvula mitral y cierres de defectos septales y atriales (48-49).

En relación a la cirugía de revascularización miocárdica, el procedimiento más frecuentemente realizado ha sido la revascularización de la coronaria descendente anterior con mamaria interna izquierda (torácica interna), descritos como ampliamente seguros y reproducibles, según la experiencia de múltiples centros (48-50). Sin embargo, éste y otros procedimientos de revascularización miocárdica continúan significando un gran reto para la cirugía robótica en especial frente a nuevas técnicas que consumen menos tiempo y tecnología como *by pass coronario directo mínimamente invasivo* en corazón activo y el uso de by pass coronario en paciente despierto con apoyo anestésico peridural vía minitoracotomía (51-52). El reto actual de la cirugía robótica lo constituye precisamente la posibilidad de realizar este tipo de cirugía sin cardioplejia.

Una etapa inicial en el entrenamiento del equipo quirúrgico en la técnica de revascularización coronaria endoscópica, lo constituye la preparación asistida por robot de la arteria mamaria interna, incluso bilateral, y el posterior by pass coronario directo mínimamente invasivo vía minitoracotomía. El uso de esta técnica permite en muchos casos, contar con una arteria más extensa y la posibilidad de efectuar el procedimiento por incisiones más pequeñas con indiscutibles efectos beneficiosos tanto cosméticos como de dolor postoperatorio comparado con la técnica sin asistencia robótica (53).

El gran reto de la cirugía robótica en esta área lo constituye en la actualidad la factibilidad de realizar el procedimiento por vía endoscópica en forma exclusiva y en ausencia de cardioplejia y ausencia de bomba. El uso de sistemas de aspiración y estabilización endotorácicos y mecanismos capaces de rotar y fijar el músculo cardíaco, actualmente en desarrollo, facilitarán el

desarrollo de esta técnica (48-54-55). Otro factor a considerar en el futuro es la posibilidad de desarrollar procedimientos híbridos que incluyan la revascularización robótica de la cara anterior, combinada con técnicas de revascularización percutáneas (56).

La técnica de revascularización endoscópica completamente asistida por robot constituye un procedimiento demandante tanto de habilidades como de factores económicos y tecnológicos y aun cuando su rol en cirugía cardíaca no puede ser determinado con absoluta certeza, su futuro es promisorio.

## 7.- CIRUGÍA PEDIÁTRICA ROBÓTICA ASISTIDA

En el área de la cirugía pediátrica, el rol de los sistemas robóticos quirúrgicos ha sido más limitado que en la población adulta. Se han reportado experiencias en la actualidad con cirugía fetal robótica asistida en modelos animales (57).

En la literatura pediátrica se han reportado el uso de dos sistemas robóticos quirúrgicos: el Zeus y el Da Vinci. Ninguno de los sistemas es completamente autónomo. Actualmente ambos robots son producidos por Intuitive Surgical (www.intuitivesurgical.com) y se espera que este último sea el sistema robótico predominante. El sistema Da Vinci usa un endoscopio de 12 mm y doble canal para proveer visión tridimensional. Para la población pediátrica se ha incorporado recientemente un laparoscopio de 5 mm bidimensional. Se han agregado además instrumentos de 5 mm (estandar es de 8,5) con 7 grados de movimiento.

En la cirugía pediátrica, el uso de sistemas quirúrgicos robóticos está altamente influenciado por el tamaño de los pacientes y por la naturaleza reconstructiva de muchos de los procedimientos. En infantes y neonatos se necesita una visualización magnificada, situación que ofrecen los sistemas robóticos con visión 3D y con la mejoría de la visión de profundidad, disminuye el temblor y ofrece un campo más estable. Además, se puede

calibrar a una relación de 3:1, es decir movimientos de 3 cm del cirujano se traducen en 1 cm en el paciente, y con mayor rango de movimientos finos. Aun existen, sin embargo, limitaciones por el tamaño de los pacientes, la ausencia de sensación háptica (58) y el costo de estos sistemas.

En esta etapa hay limitados reportes en las áreas de cirugía pediátrica general, urología pediátrica y cirugía cardiorácnica (evidencia clase 4).

En cirugía general pediátrica hay series de 10-15 pacientes incluyendo cirugías de funduplicatura de Nissen, colecistectomías, esplenectomías y miotomías de Heller. Se demostraron tiempos operatorios mayores que disminuyen con la práctica y reportó un número similar de complicaciones pero con mejoría en la visualización especialmente para la sutura intracorpórea (59).

En el campo de la urología pediátrica, la robótica ha ayudado a realizar complejas cirugías reconstructivas, como son una heminefroretectomía bilateral en una niña de cuatro años. La cirugía tomó siete horas y 20 minutos, pero los autores destacaron la facilidad para la disección del hilio renal y de los vasos (60-61).

Dos reportes han sido publicados describiendo el uso de robots en cirugía cardiorácnica pediátrica. Le Bret y colaboradores (62) reportaron sus experiencias de cierre de ductus arteriosus en 56 niños, demostrando que era seguro y realizable, sin embargo toma más tiempo y no ofrece ventajas sobre la técnica videotoracoscópica. Otro trabajo muestra beneficios de la dexteridad intracorpórea de Da Vinci en la división de anillos vasculares en dos pacientes de ocho y 10 años (63).

En resumen, actualmente los sistemas quirúrgicos robóticos han sido usados para facilitar la cirugía invasiva mínima. Hasta ahora la experiencia clínica es limitada, con tiempos operatorios prolongados pero con tasas de complicaciones y conversión aceptables. Estos sistemas agregan la ventaja de la aumentar la precisión a través de visión

3D y los instrumentos articulados para procedimientos más complejos. El costo y los tiempos operatorios hacen que su masificación sea lenta. En la medida que los costos bajen, y se refinan los instrumentos y la tecnología, se logrará que la robótica contribuya en el avance de esta disciplina quirúrgica (64).

## 8.- CIRUGÍA VASCULAR Y ROBÓTICA

Una búsqueda en MEDLINE específica en esta área produjo siete artículos (tres modelos animales y cuatro con aplicación clínica).

En 1990 Parodi en Argentina, luego de 10 años con experimentos en animales, comenzó a usar stent para revolucionar el tratamiento mínimamente invasivo de un aneurisma aórtico abdominal (65). El modelo de Stanford liderado por Martínez, evaluó el uso de instrumentación robótica voz activada en la reparación laparoscópica de aneurismas infrarenales, entre 1998 y 2000, demostrando resultados seguros y reproducibles con una baja conversión. Posteriormente introdujeron desde el 2000 a Da Vinci con buenos resultados. En la práctica clínica, Ahn y asociados realizaron la primera reconstrucción aorto-bifemoral endolaparoscópica en 1995 (66), pero luego la abandonaron. Martínez y colegas desarrollaron un estudio piloto para reconstrucciones aórticas en aneurismas infrarenales, con uso de Da Vinci aprobado por FDA para iniciarse en diciembre 2003 (en progreso) (67). Hay otros reportes aislados del uso de Zeus y Da Vinci en enfermedad arterial oclusiva aórtica con tiempos de clampeo de 60 a 70 minutos.

En los pocos trabajos que hay en este campo, se han reportado pocas complicaciones mayores y baja mortalidad durante los últimos seis años. El principal desafío es la difícil curva de aprendizaje para la cirugía robótica en esta área. Para ello se debe implementar un sistema de entrenamiento progresivo, comenzando en modelos animales y luego en pacientes (67).



## 9.- ROBOTS EN NEUROCIRUGÍA

Los avances tecnológicos en localización de lesiones, imágenes intraoperatorias y microscopia han revolucionado la neurocirugía en los últimos años. Sin embargo, la magnificación del campo operatorio y la miniaturización de los instrumentos han superado a la resolución espacial de la mano humana. La aparición de los robots ha permitido lograr movimientos finos, sin temblor e infatigables, mejorando la ergonomía y la dexteridad con capacidades hápticas.

El primer reporte de un robot usado en Neurocirugía, fue en 1985 cuando se empleó un robot industrial (PUMA) para sostener y manipular una cánula para biopsia (68), pero sin la seguridad necesaria. Desde 1987 se comenzó a usar NeuroMate (Integrated Surgical Systems), el cual utiliza imágenes preoperatorias para asistir en la planificación quirúrgica y un brazo robótico pasivo realiza el procedimiento. Este ha sido usado en más de 100 casos (69). Para satisfacer la necesidad de un sistema guiado en tiempo real, se creó Minerva (Suiza) que se basaba en imágenes de CT. Pronto siguieron el desarrollo de robots compatibles con Resonancia Magnética, con materiales que producen mínimo artefacto. Estos fueron desarrollados en EE.UU. y Japón.

La mayor dedicación de tiempo en neurocirugía corresponde a micro manipulación. Sin embargo, los sistemas robóticos realizan sólo procedimientos estereotáticos. NASA desarrolló RAMS (Robot Assisted Microsurgery System) para proporcionar una plataforma con dexte- ridad y así realizar la cirugía con mayor precisión, filtrando el temblor y minimizando los movimientos (70).

NeuroBot fue desarrollado en Japón y consiste en un robot basado en un endoscopio de 10 mm con dos fórceps, una cámara y una fuente de luz. Ha sido usado con éxito para remover porciones de un meningioma en un paciente, donde demostró ser más preciso y menos invasivo que la cirugía tradicional (71).

El SpineAssist robot (Mazor, Israel) ha

sido usado en cirugías de medula espinal y tiene aprobación por la FDA en EE.UU. Tiene el tamaño de una lata de bebida y funciona como una guía para posicionamiento de los instrumentos y para implantes, tanto en Neurocirugía como en Ortopedia (72).

Tradicionalmente, la navegación neuroquirúrgica se ha basado en imágenes preoperatorias, asumiendo que las estructuras anatómicas permanecen en la misma posición. Sin embargo, durante la cirugía, se deforman los tejidos y se altera la relación espacial llevando a errores de localización. Así, la localización intraoperatoria con apoyo de imágenes en tiempo real parece ser la mejor solución a este problema. Se han introducido resonadores intraoperatorios (iMRI) que han ayudado a los neurocirujanos en esta área. Clínica Las Condes cuenta con Instatrack 3000 desde el año 2000 y con un nuevo Arco C con reconstrucción 3D (TAC) Intraoperatorio. Además de la ecografía que es infinitamente más barata, conocida y da imágenes en tiempo real, pero tiene el inconveniente que es "operador dependiente".

Se ha avanzado últimamente en la construcción de un prototipo llamado NeuroArm (Calgary, Canada), que consiste en un robot, un controlador y una estación de trabajo. Este está basado en el concepto de maestro-esclavo como Da Vinci que permitirá realizar biopsias guiadas por imágenes a tiempo real, microcirugía en escala, y biopsias con sensación háptica (tacto). Podrá también realizar: biopsias, micro disección, termo coagulación y sutura fina, e incluso clipaje de aneurismas. Se asociará a un iMRI con estándares de seguridad para el paciente (73).

El futuro en Neurocirugía incluirá la simulación quirúrgica, realizando una cirugía en forma virtual, con un ambiente visual, de audio, táctil o con otro feedback. Se espera que el NeuroArm se perfeccione y sirva como simulador y como arma terapéutica para los neurocirujanos. Para esto deberán desarrollarse centros de for-

mación, de entrenamiento y cursos para entrenar a futuros neurocirujanos, con métodos objetivos de evaluación en esta nueva área (74).

## CONCLUSIONES

Estamos viviendo una época de cambios profundos en medicina. Hace dos décadas se introdujeron los robots al área médica, pero tomaron más relevancia en estos últimos 10 años, en conjunto con la aparición de la cirugía invasiva mínima. Los atributos ideales para un robot son: autonomía, confiabilidad y versatilidad. La tecnología y medicina moderna han ido refinando los sistemas robóticos para que cumplan estos tres objetivos. Sin embargo, para progresar aun más y aumentar el potencial de estos robots en el futuro, se necesita una mayor cooperación y entendimiento entre cirujanos, empresarios, administradores de la salud, autoridades gubernamentales e ingenieros. La cirugía robótica hasta hoy ha demostrado claros beneficios. Queda por demostrar si estos beneficios superaran los costos asociados.

En el futuro los robots deberán ser más pequeños, más versátiles, menos costosos, fáciles de operar y deberán integrarse fluidamente con otras tecnologías emergentes. Estos avances permitirán progreso continuo en instrumentación quirúrgica y en el cuidado médico de los pacientes. Recordemos que la ciencia y la tecnología trabajan por y para el hombre con un sólo objetivo final: mejorar su calidad de vida.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1> Capek K. Rossum's Universal Robots. Playfair N., Server P., trans. Landes W.A., ed New Cork: Doubleday, 1923.
- 2> Gibilisco S. The McGraw-Hill Illustrated Encyclopedia of Robotics & Artificial Intelligence, New Cork: McGraw-Hill, 1994.
- 3> D.B. Caramillo et al: Robotic Surgery today and tomorrow, The American Journal of Surgery 188 (Suppl to

Oct2004)2S-15S.

4> Satava R.M. Emerging technologies for surgery in the 21st century. *Arch Surg* 1999;134:1197-202.

5> Taylor R.H. Robots as surgical assistants: where we are, where we are tending, and how to get there. *Lectura Notes in Artificial Intelligence*. 1997; 1211:3-11.

6> Ballantyne G.H., Moll F. The da Vinci telerobotic surgical system: the virtual operative field and telepresence surgery. *Surg Clin North Am* 2003;83:1293-304.

7> Satava R.M. *Cybersurgery: Advanced Technologies for Surgical Practice*, 1st Ed., New Cork: Wiley-Liss, 1998.

8> Husbands P. Harvey I., Cliff D. Artificial evolution: a new path for artificial intelligence? *Brain Cogn* 1997;34:130-59.

9> Arroyo Carlos, Cirugía Robotica, *Revista Elementos, Ciencia y Cultura*; 58:12 Abril-Junio, 2005 Página 13.

10> L.W. Nifong and W.R. Chitwood, Jr. *The American Journal of Surgery* 188 (Suppl to October 2004) 16S-18S.

11> Hanly E., Zand J., et al. Value of the SAGES learning centre in introducing new technology. *Surg Endosc.* (press).

12> Costi R., Himpens J., Ventruien M., et al. Robotic fundoplication: from theoretical advantages to real problems. *J. Am Coll Surg* 2003;197:500-7.

13> Cadiere G., Himpens J., Ventruien M. et al. Evaluation of telesurgical (robot) Nissen fundoplication. *Surg Endos* 2001; 15:918-23.

14> Melvin W., Needelman B., Krause K., et al. Computer-enhanced versus standard laparoscopic antireflux surgery. *J Gastrointest Surg* 2002;6:11-6.

15> Horgan S., Vanuno D. Robots in Laparoscopic Surgery. *J Laparoendosc Surg Tech A* 2001;11:415-9.

16> Jacobsen G., Berger R., Horgan S., et al. The role of robotic surgery in morbid obesity. *J. Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2003;13:279-83.

17> Cadiere G., Himpens J., Germay O., et al. Feasibility of robotic laparoscopic surgery: 146 cases. *World J. Surg* 2001; 24:1467-77.

18> Talamini M., Campbell K., Stanfield C. Robotic gastrointestinal surgery: early experience and system description. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2002;12:225-32.

19> Marescaux J., Solere L. Image-guided robotic surgery. *Semin Laparosc Surg* 2004;11:113-22.

20> Melvin W., Needelman B., Krause K., et al. Robotic resection of pancreatic neuroendocrine tumor. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2003;13:33-6.

21> Melvin W. Minimally invasive pancreatic surgery. *Am J Surg* 2003;186:274-8.

22> Giullanotti P., Corradi A., Angeline M., et al. Robotics in general surgery: personal experience in a large community hospital. *Arch Surg* 2003;138:777-84.

23> Chapman W., Albretch R., Kim V., et al. Computer-assisted laparoscopic splenectomy with the da Vinci surgical robot. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2002;12:155-9.

24> Talamini M., Chapman S., Horgan S., et al. A prospective analysis of 211 robotic-assisted surgical procedures. *Surg Endosc* 2003;17:1521-4.

25> Delaney C., Lynch A., Senagore A., et al. Comparison of robotically performed and traditional laparoscopic colorectal surgery. *Dis Col Rectum* 2003;46:1633-9.

26> Rockall T., Darzi A. Robotic-assisted laparoscopic colorectal surgery. *Surg Clin North Am* 2003;83:1463-8.

27> Lacy A., García-Valdecasas J., Delgado S., et al. Laparoscopic assisted colectomy versus open colectomy for treatment of non metastatic colon cancer: a randomized trial. *Lancet* 2002;359:2224-9.

28> Bantas W., Wolfram M., Brautigam J. Laparoscopic transperitoneal adrenalectomy using a remote-controlled robotic surgical system. *J Endourol* 2002;16:373-6.

29> Young J., Chapman W., Kim V., et al. Robotic-assisted adrenalectomy for adrenal incidentaloma: case and review of the technique. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2002;12:1126-30.

30> Jacobsen G., Berger R., Horgan S.

The role of robotic surgery in morbid obesity. *J Laparoendosc Adv Tech A* 2003;13:279-83.

31> Cadiere G., Himpens J., Ventruien M., et al. The world first obesity surgery performed by a surgeon at distance. *Obes Surg* 1999;9:206-9.

32> Horgan S., Vanuno D. Robots in laparoscopic surgery. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2001; 11:415-9.

33> Hogan S., Vanuno D., Sileri P., et al. Robotic assisted laparoscopic donor nephrectomy for kidney transplantation. *Transplantation* 2001;71:660-4.

34> Ratner L., Ciseck L., Moore G., et al. Laparoscopic live donor nephrectomy. *Transplantation* 1995;60:1047-9.

35> Schweitzer E., Wilson J., Jacobs S., et al. Increased rates of donations with laparoscopic donor nephrectomy. *Ann Surg* 2000;232:392-400.

36> Buell J., Hanaway M., Potter S., et al. Hand-assisted laparoscopic living donor nephrectomy as an alternative to traditional laparoscopic living donor nephrectomy. *Am J Transplantation* 2002;2:983-8.

37> Falcone T., Goldberg J., Garcia-Ruiz A., et al. Full robotic assistance for laparoscopic tubal anastomosis: a case report. *J Laparoendosc Adv Surg Tech* 1999;9:107-13.

38> Goldberg J., Falcone T. Laparoscopic microsurgical tubal anastomosis with and without robotic assistance. *Hum Reprod* 2003;18:145-7.

39> Degueldre M., Vandromme J., Houng P., et al. Robotically assisted laparoscopic microsurgical tubal reanastomosis: a feasibility study. *Fertil Steril* 2000;74:1020-3.

40> Advincula A., Reynolds R., Kartha P., et al. Telerobotic laparoscopic hysterectomy and myomectomy case series. *SLS Annual Meeting, 12th International Congress and Endo Expo. Las Vegas, Sept 24, 2003.*

41> Diaz-Arrastia C., Jurnalov C., Gómez G., et al. Laparoscopic hysterectomy using a computer-enhanced surgical robot. *Surg Endosc* 2002;16:1271-3.

- 42> DiMarcos D., Chow G., Gettman M., et al. Robotic-assisted laparoscopic sacrocolpopexia for treatment of vaginal vault prolapse. *Urology* 2004;63:373-6.
- 43> Menon M., Tewari I. Robotic radical prostatectomy and the Vattikutim Urology Institute technique: an interim analysis of results and technical points. *Urology* 2003;61:15-20.
- 44> Guillonneau B., el-Fettouh H, Baumert H, et al. Laparoscopic radical prostatectomy: oncological evaluation after 1000 cases at Montsouris Institute. *J Urol* 2003;169:1261-6.
- 45> Walsh P., Marschke P., Ricker D., et al. Patient-reported urinary continence and sexual function after anatomic radical prostatectomy. *Urology* 2000;55:58-61.
- 46> Walsh P. Anatomical radical prostatectomy: evolution of the surgical technique. *J Urol* 1998;160:2418-24.
- 47> Loulmet D., Carpentier A., d'Atellis N. et al. Endoscopic coronary artery bypass grafting with the aid of robotic assisted instruments. *J. Thor. Cardiovasc Surg.* 1999;118:4-10.
- 48> Mohr F.W., Falk V., Diegeler A., et al Minimally invasive port-access mitral valve surgery. *J. Thor. Cardiovasc Surg* 1998;115:567-74.
- 49> Kappert U. Wagner F, Guliernos V, et al. Port Access surgery for congenital heart disease. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;16(suppl 2):86-8.
- 50> Dogan S. Aybek T., Andressen W., et al. Totally endoscopic coronary bypass grafting on cardiopulmonary bypass with robotically enhanced telemanipulation: report on forty five cases. *J Thor Cardiovasc Surg* 2002; 123:1125-31.
- 51> Calafiore A., Vitolla G., Iovino T., et al. Left anterior small thoracotomy (LAST): mid-term results in single vessel disease. *J Card Surg* 1998;13:306-9.
- 52> Aybek T., Kessler P., Khan M., et al. Operative Techniques in awake coronary bypass grafting. *J. Thor Cardiovasc Surg* 2003;125:1394-400.
- 53> Newman R. A systematic approach to minimally invasive coronary artery bypass surgery. Abstract Booklet of the Society of Thoracic Surgeons / American Association for Thoracic Surgery. Tach-Con 2004 Meeting; San Antonio, Texas; January 24-25, 2004:22.
- 54> Keppert U, Cichon R., Schneider J., et al. Technique of closed chest coronary artery surgery on the beating heart. *Eur J Cardiothorac Surg* 2002;20:765-9.
- 55> Dogan S., Aybek T., Mierdl S., et al. Totally endoscopic coronary artery grafting on the arrested heart is a prerequisite for successful totally endoscopic beating heart coronary revascularization. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery* 2002;1:30-4.
- 56> Stahl K., Boyd W., Vassiliades T. et al. Hybrid robotic coronary artery surgery and angioplasty in multivessel coronary artery disease. *Ann Thorac Surg* 2002;74:1358-62.
- 57> Aaronson O.S., Tulipan N.B. et al. Robot-assisted endoscopic intrauterine myelomeningocele repair: a feasibility study. *Pediatr Neurosurg* 2002;36:85-9.
- 58> Talamini M.A. Robotic Surgery: is it for you? *Adv Surg* 2002;36:1-13.
- 59> Knight C.G., Lorincz A., et al. Computer-assisted robot enhanced laparoscopic fundoplication in children. *J. Pediatr Surg* 2004;39:864-6.
- 60> Pedraza R., Palmer L. et al. Bilateral robotic assisted laparoscopic heminephroureterectomy. *J Urol* 2004;171 (Pt 1):2394-5.
- 61> Peters C. Robotic assisted surgery in pediatric urology. *Pediatric Endosurgery and Innovative Techniques* 2003;7:403-14.
- 62> Le Bret et al: Interruption of patent ductus arteriosus in children: robotically assisted vs videothoracoscopic surgery. *J. Thorac Cardiovasc Surg* 2002; 123:973-6.
- 63> Mihaljevic T. et al. Robotically assisted division of a vascular ring in children. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003;125:1163-4.
- 64> R. Woo et al. The American Journal of Surgery 188 (Suppl to Oct 2004) 27S-37S.
- 65> Parodi J.C. Endovascular repair of abdominal aortic aneurysm and other arterial lesions. *J Vasc Surg* 1995;21:549-57.
- 66> Ahn S.S., et al. Laparoscopic aorto-femoral bypass: initial experience in an animal model. *Ann Surg* 1995; 222:677-83.
- 67> B.D. Martínez and C.S. Wiegand. The American Journal of Surgery 188 (Suppl to oct 2004).
- 68> Kwok Y.S., Hou J. et al. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng* 1988;35:153-60.
- 69> P.B. McBeth et al. The American Journal of Surgery 188 (Suppl to October 2004) 68S-75S.
- 70> Kozlowski D.M., Morimoto A.K. et al. Micro-telebot surgical system for microsurgery. *Stud Health Technol Inform* 1997;39:216-23.
- 71> Hongo K., Kobayashi S. et al. Neuro-Robot: telecontrolled micromanipulator system for minimally invasive microneurosurgery-preliminary results. *Neurosurgery* 2002;51:985-8.
- 72> Wolf A., Shoham M. et al. Feasibility study of a mini, bone attached, robotic system for spinal operations: analysis and experiments. *Spine* 2004;29:220-8.
- 73> Louw D.F., Fielding T. et al. Surgical Robotics: a review and neurosurgical prototype development. *Neurosurgery* 2004;54:525-37.
- 74> Winckel C.P., Reznick R.K. et al. Reliability and construct validity of a structured technical skills assessment form. *Am J Surg* 1994;167:423-7.