



## La Informática y la Cibernética en Medicina

M. SERRANO, MD. SCC.

El hombre como la más importante especie inteligente conocida en el Universo, cuenta con un espíritu de búsqueda y de insatisfacción permanente; gracias a esto, ha logrado penetrar en los misterios de la naturaleza, transformarla y colocarla a su servicio. El conocimiento científico lo interpreta para la construcción de instrumentos tecnológicos y la imbricación de la ciencia y la tecnología se ha convertido en el cimiento que encauzará los cambios de la Sociedad del siglo XXI.

La transdisciplinariedad ha permitido el beneficio de la aplicación del conocimiento científico y tecnológico al fortalecimiento de disciplinas como la Medicina. En la actualidad la tecnología informática tendrá el poder de intervenir en la reconstrucción de la ciencia médica y en el nuevo paradigma de la cirugía, "La cirugía mínimamente invasora".

La **informática** nació cuando se demostró que los procedimientos lógicos podían ser reproducidos en circuitos eléctricos y la construcción de máquinas "inteligentes", capaces de captar, procesar y ampliar el conocimiento, se constituyó en el nuevo desafío (1).

La computación nace del sueño de la neurociencia de conocer, analizar y medir la mente humana, de sistematizar la inteligencia y ponerla al servicio del hombre. Los modelos computacionales se fundamentaron en la neurofisiología del cerebro humano (2). El hombre se interpretó como un procesador de información, para servir de modelo, pero la fundamentación de la comprensión humana es un proceso cognitivo de muy alto nivel que requiere la intervención de la atención, de la memoria, de los procesos de codificación y de percepción, y el conocimiento del procesamiento de la información de la mente humana y de los modelos que pretenden sistematizar la inteligencia, están en una fase de entendimiento muy precoz y requieren mayor investigación.

A pesar de encontrarnos en la prehistoria de la sistematización de la inteligencia, con los avances logrados hasta ahora, vemos resultados sorprendentes; el más significativo para la ciencia es la "estructuración del conocimiento". El extraordinario volumen de información generado

por los científicos se perdía en gran parte y sólo un porcentaje mínimo lograba la eficiencia en su aplicación. Mediante el procesamiento de la información y las técnicas de comprensión digital, la información científica ha aumentado su difusión y su eficacia y se duplica a un ritmo cada vez más acelerado.

Toda tecnología tiene un límite en su aplicación y la velocidad del desplazamiento de los electrones circunscribe en la actualidad, los límites de la conmutación. Para aumentar la velocidad de transmisión, se impone incrementar la velocidad de la corriente, situación que origina mayores dificultades. Pero estos no son límites infranqueables que impidan el progreso. La tecnología de la microelectrónica es la solución, evoluciona en forma exponencial y los componentes optoelectrónicos son la promesa actual para derribar estas demarcaciones.

Con los cables de fibra óptica, las comunicaciones llegarán en tiempo *récord*, y con los discos ópticos se permitirá un almacenamiento masivo de la información. El ordenador del futuro, se basará en tecnología óptica gracias a que los dispositivos de conmutación óptica como los interferómetros, reducen la disipación del calor generado por el incremento de la velocidad de la corriente y reducen también el problema de empaquetamiento y de conexión; además de ser eficientes en la eliminación de interferencias, aumentan la velocidad de conmutación y de transmisión de las señales, los dispositivos de conmutación óptica pueden mantener al mismo tiempo estados de conmutación diferentes para numerosas longitudes de onda. De esta manera no se observan límites posibles en el desarrollo del *hardware* del futuro.

Pero la informática implica un equilibrio entre *hardware* y *software* y la industria de este último se ha convertido en uno de los más poderosos renglones de la economía mundial. La tecnología multimedia se ha integrado a la nueva forma de comunicación, permitiendo originales "interfaces inteligentes" con extraordinarios estilos de presentación de la información como los hipermedia.

En la estructuración del conocimiento, ha establecido una nueva categoría de la ciencia: "La Inteligencia Artificial" y ésta se ha convertido en una tecnología para expertos o "ingenieros del conocimiento". Esto tiene su origen en la creación de bases de conocimientos y su organización se fundamenta en sistemas de normas de representación de conocimientos (3). La Medicina es una de las disciplinas

---

Doctora Myriam Serrano Arenas, Profesora del Dpto. de Cirugía, Esc. de Med., Facultad de Salud de la UISS, Bucaramanga, Colombia.

que más se beneficia del progreso de la informática. El conocimiento médico es complejo y desorganizado; en su eficiente estructuración, exige técnicas de ingeniería del conocimiento, para hacerlo más coherente. Con la conexión de sistemas inteligentes (SI) con bases de conocimientos, se permitirá que el análisis del gran volumen de la información médica pueda ser racionalizada; son múltiples los ejemplos de este proceso, los sistemas que incorporan las bases de datos médicos conectados a *software* de inteligencia artificial se perciben como la solución a la eficiencia en la utilización de la información médica.

Una de las subespecializaciones de la investigación de la inteligencia artificial (IA), es la inteligencia artificial en medicina (IAM) (4, 5), y una de las áreas de mayor interés en este campo es la del "Procesamiento de imágenes".

Las **imágenes en medicina** se originaron hace 100 años, cuando Roentgen descubrió los Rx y el procesamiento digital de las imágenes médicas permite la introducción de éstas en los ordenadores. Con la combinación de técnicas informatizadas y de métodos diagnósticos como el escáner, la tomografía axial computerizada, la resonancia magnética nuclear y la tomografía de emisión de positrones, el médico del futuro logrará la reproducción anatómica y funcional de sistemas y órganos (6, 7). Además, la adecuada obtención de imágenes facilita el uso de otras tecnologías, como el láser frío transmitido mediante fibra óptica, aplicaciones terapéuticas mínimamente invasoras como las angioplastias, la trombólisis y otras (8).

La aplicación de la tecnología informática al procesamiento de las imágenes y de las gráficas, ha concebido una nueva especialización, la **realidad virtual (RV)** (9), que permite la generación de ambientes tridimensionales.

Compañías como Simgraphics y Fuji, trabajan en *software* de realidad virtual que permitirá restituir en tiempo real los movimientos de los humanos. Esto permitirá a los médicos interactuar eficientemente con los pacientes y abre inmensas posibilidades de aprendizaje en la educación médica.

El ambiente virtual se genera por computador con panoramas de 360° permitiendo la visión estereoscópica, en cada imagen se pueden mejorar las particularidades especiales como los bordes, la transparencia, los colores y, además, se pueden asociar imágenes con sonidos y con otros efectos, es decir, se pueden "virtualizar". Con el reforzamiento de la presentación háptica, a los objetos digitales se les pueden adaptar otras propiedades como profundidad, presión, textura, temperatura, olores, fuerza, etc. (10). Esto permitirá al médico durante procedimientos como la endoscopia en estéreo transmitir imágenes tridimensionales y podrá introducirse en las profundidades de los órganos y captar imágenes desde ángulos inimaginables (11). En cirugía, la limitada capacidad del médico para interpretar imágenes visuales, puede ser perfeccionada con técnicas de "realce visual" que mejoran la iluminación, el sombreado y las perspectivas; además, se pueden combinar con técnicas estereoscópicas que intensifican el efecto tridi-

mensional, para guiar al cirujano en la sección de los tejidos.

Con la realidad virtual nacen nuevos escenarios, "el ciberespacio"; en el Instituto de Tecnología de Kioto, en Japón, se desarrolló una ciudad virtual de más de 20.000 habitantes, en un mundo de más de 400 escenarios ligados entre sí. En la Universidad de Carolina del Norte, se están desarrollando entornos virtuales tridimensionales creados con imágenes de la vida real y reorganizados en ambientes virtuales.

Agrupar personas distantes en espacio virtual común, es hoy una realidad, gracias a la transmisión digital de imágenes. En educación médica las posibilidades son inimaginables en el aprendizaje quirúrgico; por ejemplo, no requerirá de la presencia física del estudiante en la sala de cirugía porque podrá ingresar en forma de holograma.

Son más impresionantes las posibilidades que ofrece el uso de simuladores con técnicas de realidad virtual; los quirófanos virtuales, ofrecen áreas seguras para los intercambios de conocimientos y técnicas entre estudiantes y pacientes virtuales. Para la generación de simuladores quirúrgicos se crean secuencias quirúrgicas virtuales que se incorporarán a otras reales; el cirujano aprenderá en los simuladores y la morbilidad por la curva de aprendizaje dejará de existir; los cirujanos salvarán más vidas reales aprendiendo de sus errores virtuales. En el Hospital Militar de Silas, California, actualmente se utiliza la realidad virtual en el adiestramiento en laparoscopia y videoendoscopia (12).

Con la realidad virtual nace la "ultravisión" que permitirá que los ciegos que oyen puedan ver, porque las imágenes visuales pueden ser transformadas en sonidos a través del equipo de ultrasonido al visor (13), y permitirá también al médico ver cosas que normalmente son invisibles. Se prevé que el ojo humano, también podrá resistir una cámara óptica de tamaño mínimo, que capte señales de satélite y las integre al cerebro.

En los ambientes virtuales, las experiencias sensoriales pueden tener sustitución. Los discapacitados serán los más beneficiados.

Los "sordos" pueden gozar de una sustitución sensorial, porque lo que se dice puede ser traducido como voz y visualizado simultáneamente sobre la cabeza del hablante, para que el que no oye pueda leer. Este tipo de computadores ayudarán a los individuos discapacitados a ser capaces de comunicarse y de entenderse a través de ellos con los demás hombres.

En la actualidad existen dispositivos inteligentes de reconocimiento de voz; tres de esos sistemas son aplicables al *Windows*: el *Dragon Dictate*, el *Kurzweil Voice* y el *VoiceType Dictation*; al hablar en un micrófono, la palabra es analizada y convertida en señal digital; estos sistemas están siendo experimentados en telefonía celular y son base para que las máquinas del futuro sean activadas por la voz.

Con la **inteligencia artificial** y con la **realidad virtual** se han perfeccionado los “sensores”, que son sistemas o dispositivos para detectar señales equivalentes a los “sentidos humanos”. Existen sensores que detectan y procesan la mayoría de las señales.

También existen sensores biológicos o biosensores o biocontroladores que captan e interpretan señales bioeléctricas. Los biocontroladores conocidos en la actualidad y que tienen mayor potencialidad en medicina, son:

- Los controladores de movimientos horizontales y verticales del ojo, que permitirán a las personas discapacitadas que poseen sólo movimientos de la cabeza, con los movimientos de los ojos enviar señales al computador para que allí sean traducidas y puedan comunicarse a través de la pantalla.
- Los controladores musculares, que capturan y trazan señales de la actividad eléctrica de los músculos. Con implantes de electrodos en los músculos de pacientes parapléjicos, se podrán manejar en forma externa con un ordenador, para lograr una caminata artificial.
- Los controladores de ondas cerebrales, también pueden detectar señales cerebrales y reinterpretarlas, y se pueden transformar en frases que se transfieren al sistema (14, 15).

Además, todas estas señales captadas por los biosensores, se pueden enviar a un robot o a otros dispositivos mecánicos, para que ejecuten órdenes.

La **robótica** es otra de las áreas de experimentación de la inteligencia artificial. Un robot no es otra cosa que un “manipulador” equipado con “sensores” y “controladores”, diseñado y programado con *software* de inteligencia artificial. Los sistemas robóticos son capaces de reconocimiento háptico, es decir, pueden percibir sensibilidad, reconocer, manipular y determinar propiedades de objetos y en ocasiones superan a los humanos, en los cuales se ha comprobado la existencia de distorsiones de la medición de la velocidad, de la fuerza y de la distancia entre puntos; estas operaciones pueden ser superadas por robots. La determinación del color y la textura también pueden ser mejor reconocidos por el robot (10, 16, 17). Las aplicaciones médicas actuales que se perciben en este sentido permitirán la interacción del médico con el paciente a través de un robot, especialmente en áreas de desastres, inaccesibles, donde la presencia física del médico es imposible; igualmente se podrá incrementar la eficiencia en los diagnósticos; un ejemplo de ello es lo que se observa en los melanosas, donde se aumenta la certeza diagnóstica al interpretar color y profundidad (18).

Las comunicaciones robot-hombre se realizan a través de los “sensores” o sentidos artificiales que pueden a través de guantes o trajes, transferir a quien los usa, efectos hápticos o táctiles, como los de empujar, lanzar, repeler, fluir, etc, para interactuar con las imágenes del computador.

Se han creado guantes con sensores de fibras ópticas que recorren cada una de las articulaciones de la mano y permiten al usuario manipular cosas en un entorno real mientras están conectados en el entorno virtual (1). Se han diseñado gafas con visión estereoscópica y ultravisión; cascos especializados, dotados de pantallas de TV, y trajes con sensores múltiples para permitir sensaciones múltiples y dar la percepción de inmersión en los ambientes de realidad virtual.

Con los sensores manejados a distancia o “telesensores”, se facilita la manipulación de los robots. Existen manos robots que funcionan como guantes y han sido construidas para operaciones de telemanipulación de objetos en tiempo real; su uso futuro se prevé en el manejo de áreas contaminadas de desechos tóxicos y en situaciones de peligro; en medicina puede tener otras aplicaciones como en la rehabilitación. El DART (*Dextros Anthropomorphic*), es un brazo robótico del centro espacial de Jhonston y es teleoperado por humanos con técnicas de realidad virtual. Los robots del futuro realizarán las tareas más peligrosas cuando las sensaciones humanas de ver y palpar sean adaptadas eficientemente a los sistemas robóticos. Existen en experimentación robots con sensores táctiles, que con la integración de múltiples electrodos logran una resolución táctil espacial comparable a la de los humanos (20, 21).

Para mejorar la interacción hombre-máquina, los robots son cada vez más semejantes a los humanos; existen robots que transpiran y simulan la respiración; en Rodney Brooks, un laboratorio de inteligencia artificial del Instituto de Tecnología de Massachusetts, crearon un robot llamado COG que interactúa con humanos y ha permitido estudiar las dificultades en la interacción.

En Japón el desarrollo de la robótica va a la vanguardia; esto se refleja en los cambios de la práctica médica, gracias a la utilización de la tecnología y especialmente de la robótica; el número de doctores por 10.000 habitantes es menor y el costo médico por persona es sólo un tercio del mismo en EE.UU.; el Sistema Nacional de Salud es mantenido por un grupo pequeño de médicos; Japón tiene sólo una cuarta parte del personal médico de América (22). Son un potencial en algunas áreas de las prácticas en enfermería como el baño de pacientes y su transporte al mismo; el NASHY es el famoso robot de la Universidad de Tokai que transporta pacientes. El AID-I, es un robot de ayuda que asiste al paciente soportándolo del tronco (22). El Melkong es otro robot de ayuda, usado para el transporte de pacientes de un hospital a la cama de manera semiautomática; un sistema de control computarizado ejecuta los movimientos del robot y tiene siete grados de movimientos y cada brazo puede ser rotado en varios ejes (23). La escuela médica Hamamatsu tiene robots que ayudan en las tomas sanguíneas para análisis biológicos; esto tiene valor en las habitaciones quirúrgicas para prevenir contagios.

Los robots de ayuda en cirugía son una realidad en muchos campos; especialmente se están perfeccionando robots quirúrgicos para tareas que exigen alta precisión y los más exigentes son usados en microcirugía.

Algunos robots ya presentan experiencias confiables como los usados para trasplantes de córnea donde miden, seccionan y trasplantan la córnea usando excimer o He-Ne láser, además de permitir al cirujano simular la precirugía; estos sistemas están ayudados por mecanismos que reconstruyen imágenes en tercera dimensión, adquiridas de la **resonancia magnética nuclear**, de los **RX** y de la **TAC** (24).

En ortopedia, en la Universidad de California, se han hecho experimentos con animales que permiten a un robot practicar una artroscopia, y en una de las intervenciones quirúrgicas más exigentes como el remplazo total de cadera, se desarrollaron varias generaciones de sistemas robóticos para ayudar a los ortopedistas; el **ROBODOC** fue diseñado para implantar la prótesis en forma precisa, reduciendo las complicaciones, este es el primer robot que participa activamente en una cirugía invasora y su misión es orientar con precisión y llevar a la cavidad femoral el implante protésico (25, 26); también otros robots médicos asisten en cirugía artroscópica a los profesionales médicos de la Escuela de Medicina de la Universidad de *British Columbia* en Canadá (11).

En urología también se han refinado cada vez más las técnicas para reseca tejidos prostáticos y evitar complicaciones como las hemorragias y las estenosis uretrales; el control de la cantidad de tejido por reseca en las técnicas de resección transuretral, es ayudado por máquinas computarizadas. El sistema de control tiene un sistema de sensores y una secuencia de movimientos que puede ser programable y también permite el uso manual.

Se describe una nueva aplicación de ultrasonido para el procedimiento de resección transuretral de la próstata, el **SCAN** se incorpora como parte de un robot para cirugía; esto acorta el tiempo y mejora la precisión de la cirugía; otro sistema robótico reemplaza a su predecesor manual y ha sido diseñado para reseca automáticamente el adenoma prostático (27, 28).

En neurocirugía las técnicas de cirugía estereotáxica son cada vez más sofisticadas y han permitido la realización de este tipo de cirugía con menor índice de complicaciones; una de las dificultades mayores era determinar con exactitud la cantidad de tejido por reseca basado en las imágenes prequirúrgicas; por tal motivo, inicialmente las aplicaciones quirúrgicas con la cirugía estereotáxica se limitaban a las biopsias del cerebro (29). Con el uso de la **TAC**, se precisan las tareas de los robots en neurocirugía. Otros autores refieren sistemas de alta precisión en la cirugía estereotáxica con límites menores de 1 mm, ejecutados a través de accesos de 2.3 mm. Un ejemplo típico es el utilizado para estimular con electrodos el núcleo del tálamo en pacientes con enfermedad de Parkinson (30, 31).

Los progresos en cirugía endoscópica como la cirugía del estómago y colorrectal, han revelado dificultades en las manipulaciones quirúrgicas; las técnicas para movilizar, diseccionar y suturar tienen sus limitaciones con los instrumentos convencionales; el intercambio frecuente de instru-

mentos y de accesorios consume tiempo; se han establecido sistemas de instrumentos inteligentes como el **ISIS** (instrumentos inteligentes), con efectos adicionales, semi-automáticos, que desempeñan múltiples funciones y favorecen el desarrollo de la cirugía mínimamente invasora (32, 33). Otros instrumentos inteligentes para ayuda quirúrgica se han desarrollado como el sistema de **láser inteligente** que puede ayudar al oftalmólogo a mejorar la precisión durante sus procedimientos, y se desarrollan modelos como el **CLS 4001**, equipado con un sistema de visión, de control robótico del movimiento y un sistema cerrado que rastrea el ojo en tres dimensiones. El sistema es operado a través de una unidad de control quirúrgico (8).

La **telerrrobótica** es el futuro de la cirugía; la planeación, la simulación y la ejecución de fases de los procedimientos quirúrgicos podrán ser realizadas por multiprocesadores, mientras parte de la cirugía puede ser teleoperada por el cirujano a través de guantes. La teleoperación es una manipulación remota donde el robot es inteligente y puede realizar acciones con solo supervisión (34-37).

La **telecirugía** actual requiere computadora, TV, telesensores y equipos de realidad virtual para crear ambientes tridimensionales en los que se puede interactuar, pero el uso más sorprendente será la telemanipulación con la micro-robótica, para efectuar la **microcirugía tele-manipulada**. Micromáquinas con control remoto serán parte de la "cirugía mínimamente invasora" (38). Este concepto de **microrrobótica** se deriva de la **nanotecnología**; ésta pretende la construcción de máquinas moleculares cuyos componentes se miden en nanómetros, (millonésima parte de 1 milímetro) y los primeros pasos se dieron cuando se descubrió la forma de individualizar los átomos. También aquí el hombre se inspiró en las células como fábricas nanotecnológicas y con el avance en el diseño de polímeros se está haciendo posible esta tecnología. Se pretende utilizar micromáquinas con *software* de inteligencia artificial, equipados con sensores, unidades de control por radio o capacidad de computación; un ejemplo de ello serán los "desfibriladores inteligentes" con capacidad para detectar y actuar ante problemas cardíacos.

Los robots celulares serán una especialidad de la ingeniería molecular y dan origen al nacimiento de la **nanocirugía**, micromáquinas que introducidas en el cuerpo pueden llegar a practicar desobstrucciones de aneurismas arteriales.

En el tratamiento del cáncer se están desarrollando robots ultramicroscópicos para mirar dentro de los vasos sanguíneos y transportar la quimioterapia *in situ* a las áreas tumorales como carcinomas y sarcomas.

Los microrrobots o máquinas miniaturizadas, podrán utilizarse en lugares pequeños u hostiles y son una potencialidad en el "vacío" y en el espacio. En la conquista del espacio, los cirujanos del futuro tendrán que resolver aspectos como la adaptación a la privación de la gravedad, la readaptación del conocimiento de los sistemas como el de la hemorragia, las sensaciones táctiles transformadas

por la pérdida del poder propioceptivo, la dificultad en los movimientos, las dificultades en la estabilización de los órganos por la separación de tejidos que "flotan", las diferencias en la obstrucción de los vasos sanguíneos con pin-

zas, la sección y las suturas. Todas estas y otras limitaciones exigen que se desarrollen nuevas técnicas quirúrgicas, y la **robótica quirúrgica** se perfila como la solución a la cirugía del espacio (39).

## REFERENCIAS

1. Turing A M: Puede pensar una máquina?. En: El mundo de las matemáticas. J.R.S. Newman. Edic. Grijalbo, Barcelona, 1969
2. Wiener N: Cybernetics. Jhon Wiley and Sons. New York 1948
3. Corredor M V: Principios de Inteligencia Artificial & Sistemas Expertos. Edic UIS, 1992
4. Riss P A, Koelbl H, Reinhaller A, Deutinger J: Development and application of simple expert systems in obstetrics and gynecology. *J Perinat Med* 1988; 16 (4): 283-7
5. Williams C E, Lively W M: User perspectives and design considerations for medical expert system. *Annu Internat Conf IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12 (3): 1343-4
6. Inaoka N, Suzuki H, Fikuda M: Hepatic blood vessel recognition using anatomical knowledge; proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engin, Vol. 1652. Publ by Int Soc for Opt Engin, Bellingham, WA, USA 1992; pp. 509-13
7. Cook H M, Fox M D: University of Connecticut, School of Engineering, Storrs 06258. Application of expert systems to mammographic image analysis. *Am J Physiol Imaging* 1989; 4 (1): 16-22
8. Hsueh Chi-Fu T, Bille Josef: Intelligent surgical laser system configuration and software implementation. *Proc SPIE, Internat Soc Optical Engin, Bellingham, WA, USA* 1992; 1650: 39-47
9. Sutherland Y E: "A Head-Mounted Three-Dimensional Displat". Harvard Comp Labor; *Proc. Fall Joint Computer-Conference*, Thompson Books, 1968
10. Fasse E D, Kay B A, Hogan N: Human haptic illusions in virtual object manipulation. *Annu Internat Conf IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12 (5): 1917-8
11. Rodin V, Ayache A: Monocular stereovision, a medical robotic application, the use of color, *Proc SPIE; Bellingham, WA, USA*, 1992; pp. 175-85
12. Satava C R: Virtual Reality Surgical Simulator, The first Step. *Proc Med Meets Virtual Reality*, University of California 1992
13. Brooks F P: Computer Science Department, University of North Carolina, Chapter Hill, Senate Hearing on Virtual Reality, Washington 1991
14. Lusted H S, Knapp B: Ciocontrollers: A Direct link from the Nervous System to Computer. *Proc Med Meets Virtual Reality*; University of California at La Jolla, San Diego, 1992
15. California: The Gesture Control System is being developed by GMS and researchers at Cal State University at Nothridge. *Virtual World News*, 1991; 13 (1)
16. Lederman S J, Klatzky R L: Flexible Exploration by human and robotic haptic systems. *Annu Internat Confer IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12 (5) 1915-6
17. Dhawan A P, Parikhg M: Knowledge-based color and texture analysis of skin image. *Annu Internat Confer IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12, (3) 1289-90
18. Soni A B, Tzanakou M; Devereux D F: An imaging System for Melanoma Evaluation. *Annu Internat Confer IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12 (5) 1243-4
19. Jau B M: Anthropomorphic four fingered robot hand and its glove controller. *Annu Internat Confer IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12 (5): 1940-1
20. Kolesar E S, Ford D G, Reston R R: Robotic tactile sensor based upon an electrically-multiplexed array of pressure-sensitive field-effect transistors. *Annu Internat Confer IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12 (5): 1944
21. Satava R M; Simon I B: Teleoperation, Telerobotic and Telepresence in Surgery. *End Surg* 1993; 1: 151-3
22. Takatoshi I, Najam A, Noriya A: Expectations for medical and healthcare robotics. *Adv Robotics* 1993; (2): 189-200
23. Hashino S: Aiding robots. *Adv Robotics* 1993; 7 (1); 97-103
24. Dohl T: Robot technology in medicine. *LIA (Laser Institute of America)* 1993; 75
25. Russel II T, Howard A P, Brent D M, Hanson W, Kazanzides P, Zahars J, Glasman E, Musits B I, Williamson W, Bargar W I: An Image-directed Robotic System for Precise Orthopaedic Surgery. *Annu Internat Confer IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12 (5): 1928- 30
26. Gottschalk M A: Part surgeon, part robot, It's ROBODOC. *Design News (Boston)* 1993; 49 (11): 6
27. Ng W S, Davies B L, Hibberd R D, Timoney A G: Robotic Surgery. *IEEE Engin Med Biol Soc* 1993; 12: 120-5
28. Ng W S, Davies B J, Timone A B, Hibberd R D: Use of ultrasound in automated prostatectomy. *Med Biol Engin Comput* 1993; 31; 349-54
29. Lavallee St, Troccaz J, Gaborit L, Chiquin Ph, Benabid A L, Hoffmann, Dominique: Image guided operating robot: A clinical application in stereotactic neurosurgery. *Proc IEEE Internat Confer Robotics and Automation*, 1992
30. Russell II T, Kazanzides P, Brent D M, Howard A P: Redundant Consistency Checking in a Precise Surgical Robot. *Annu Internat Confer IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12 (5), 1933-5
31. Drake J M et al: Computer and Robotic Assisted Resection on Brain Tumors. *IEEE*, 1991
32. Mueglitz J, Kunad G, Dautzenberg P, Neisius B; Trapp R: Kinematic problems of manipulators for minimal invasive surgery. *End Surg* 1993; 1: 160-4
33. Melzer A, Schur, Kunert W, Buess G, Voges U, Meyer J U: Intelligent surgical instrument system ISIS. Concept and preliminary experimental application of components and prototypes; *End Surg* 1993; 1: 160-4
34. Paul H A: Image-Directed Robotic Surgery. *Proc Med Meets Virtual Reality*. University of California 1992
35. Rininsland H H: Basics of robotics and manipulators in endoscopic surgery. *End Surg* 1993; 1: 154-9
36. Martelli D P, Sabatini A M: An experimental setup for investigating sensor-based teleoperated surgery procedures. *Annu Internat Confer IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12 (5). 1942-3
37. Satava R M: Robotic, Telepresence and Virtual Reality. *Minimally Invasive Therapy* 1992; 1: 6
38. Lubove S: Fooling the Inner Ear. *Forbes Magazine* 1991; 147: 110
39. Satava R M: Surgery in space. Surgical principles in a neutral bouyancy environment. *Annu Internat Confer IEEE Engin Med Biol Soc* 1990; 12 (5) 1105-6