

Aplicaciones de técnicas de Realidad Virtual en el aprendizaje artroscópico. Introducción, posibilidades y actualización

J.M. Fernández Fernández-Arroyo⁽¹⁾, L. Pastor Pérez⁽²⁾, J.M. Espadero Guillermo⁽³⁾, S. Bayona Beriso⁽⁴⁾, G. Triviño Barros⁽⁵⁾

(1)Servicio de Traumatología y Cirugía Ortopédica. Insalud. Hospital Severo Ochoa. Leganés, Madrid. F.E.A. (2)Catedrático de Universidad. Ingeniero Industrial. (3)Profesor. Centro Apoyo Tecnológico. (4)Ingeniera Informática. Profesora. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid. (5)Facultad de Informática. Ingeniero Industrial. Universidad Politécnica de Madrid.

Correspondencia:

José Manuel Fernández Fernández-Arroyo.
c/ Alfredo Marquerie 7. 2ºC. 28034 Madrid.
e-mail: jfernandezfe.hsvo@salud.madrid.org

Los avances tecnológicos de la Ingeniería Informática han permitido que la simulación de situaciones sea una realidad en nuestro entorno, siendo sus aplicaciones cada vez más amplias. Se expone el estado actual de un proyecto, que partiendo de los datos anatómicos óseos del Proyecto Humano Visible y tras un procesado de los datos a través de un software diseñado para el mismo y mediante un dispositivo de control VLI® (Virtual Laparoscopic Interface) dotado de dos actuadores –similares a los empleados en cirugía endoscópica- logramos –con uno de ellos- mantener la imagen en un monitor de ordenador y con el otro manejar un “palpador” facilitando la enseñanza de la navegación y triangulación.

Palabras claves: Realidad Virtual, simulador quirúrgico, entrenamiento quirúrgico artroscópico.

Applications of virtual-reality techniques in arthroscopic training: introduction, possibilities and update. The technological improvements in informatic engineering have rendered it possible that simulation of actual situations may become true reality. We present the current status of the project which, starting on the data of the Visible Human Project and after processment of such data through a tailor-made software and a VLI® (Virtual Laparoscopic Interface) device provided with two activators. Using a “feeler” facilitates teaching of triangulation and navigation.

Key words: Virtual Reality, surgical simulator, arthroscopic surgical training.



G

racias al desarrollo tecnológico de la Ingeniería Informática, la simulación de situaciones ha pasado de ser un evento de las novelas de ciencia ficción a una realidad cada

vez más frecuente, asequible y asimilable en nuestro entorno.

La Traumatología y Cirugía Ortopédica no puede escapar a esta nueva era tecnológica, habiendo nu-

merosos grupos de investigación trabajando sobre el tema⁽¹⁻⁶⁾.

En este trabajo se pretende dar una idea general del estado actual, definición de los conceptos y análisis de las posibilidades, señalando que actualmente estamos desarrollando un proyecto multidisciplinario de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico de “**Entrenadores virtuales mediante plataformas de bajo coste**” (Proyecto CICYT –Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología–)^(7,8) en que se incluye el desarrollo de un entrenador para aprendizaje y perfeccionamiento de técnicas de cirugía artroscópica fundamentado en un soporte de Realidad Virtual.

Nos basamos en los siguientes puntos:

1. La cirugía artroscópica es una técnica quirúrgica cada vez más empleada, aplicándose a las principales articulaciones del aparato locomotor, permitiendo la realización de técnicas de cirugía mínimamente invasivas, que unido a las mejoras en el campo anestésico permiten la realización de cirugía sin ingreso y la Cirugía Mayor Ambulatoria.

2. Su realización requiere un aparataje cada vez más preciso y complejo, por lo que el cirujano interviene: - Sin ver directamente sobre lo que actúa. Observa o mira a través de una cámara conectada a un monitor, lo que podemos denominar como “Control Visual Indirecto”. - Sin “tocar” con sus manos las estructuras alteradas, por lo que da la sensación táctil de la cirugía clásica hemos pasado a una “Sensación Táctil Instrumentada”.

3. Estas técnicas de cirugía artroscópica son bastante recientes, mejorando y perfeccionándose continuamente, por lo que su aprendizaje y puesta al día es dificultoso y caro, requiriendo de muchas horas de entrenamiento, ya sea en cadáver, modelos plásticos o de aprendizaje en quirófano y de mucha paciencia, tanto del equipo quirúrgico (cirujano, ayudante/s, anestesista) como del personal de quirófano, no siempre disponibles.

4. Como contrapartida, los requisitos tecnológicos para la realización de un simulador quirúrgico para cirugía artroscópica son cada vez más asequibles, pudiendo estar disponibles –en un futuro no muy lejano– para su empleo en centros de formación y de perfeccionamiento de especialistas, como ya se aplica en otros campos (p. ej. la formación de pilotos de aviones, controladores aéreos o de coches de carrera)^(9,10).

5. Otra ventaja observada en la Cirugía Artroscópica es que al actuar sobre estructuras relativamente poco deformables su representación interactiva es menos complicada que en otro tipo de cirugía (p. ej. cirugía abdominal)^(5,11).

Actualmente se está trabajando mediante geometría computacional en la simulación y visualización de de-

formidades de estructuras blandas, (como ocurre con la cirugía abdominal laparoscópica, p. ej. vía biliar o hígado) pero el cálculo es muy complejo⁽¹⁾ y los resultados en el momento actual poco realistas.

Dentro de la introducción al tema, hay que destacar algunas definiciones como son^(1,9):

Realidad virtual: se define como la técnica infográfica que hace percibir como real un entorno irreal construido en un ordenador⁽¹⁰⁾.

Consiste en el empleo de varios sistemas gráficos computarizados en combinación con diversos sistemas de salida (monitores, etc.) para lograr una visualización participativa en tres dimensiones y la simulación de mundos virtuales. Actúa sobre la vista, el oído y el tacto. Crea un entorno en el que los participantes pueden “entrar” e interactuar con el mismo (inmersión).

Inmersión: se puede definir como el acto voluntario de obviar todos los estímulos que indican que la experiencia que se presenta no es real y, por tanto, acaparar toda la concentración y atención de la persona involucrada. Sería como introducirnos en un ambiente tridimensional generado por el ordenador, en el que los objetos virtuales tienen presencia espacial.

Ambiente virtual: Ambiente interactivo tridimensional generado por un ordenador.

Mundo virtual: Entorno interactivo que puede visualizarse y examinarse desde cualquier perspectiva de forma continua. En realidad se trata de una base de datos que contiene la información de un modelo o entorno tridimensional.

Generación de Imágenes: En un sistema de realidad virtual las imágenes mostradas no se encuentran almacenadas en ningún sitio, sino que son generadas dependiendo de la perspectiva que se quiera observar, proporcionando total libertad de movimientos al usuario. Como es lógico es imposible tener guardadas previamente todas las imágenes correspondientes a todos los puntos de vista posibles.

Realimentación de fuerza: son sistemas que combinan la entrada de posiciones y de fuerzas con la salida de fuerzas (principio de acción-reacción). Permite que el usuario sienta la resistencia de los objetos virtuales como una respuesta a la fuerza que aplicada.

Dispositivos de localización: Sensores de posición que permiten al ordenador averiguar la posición, dirección (y a veces fuerza) desde donde interactúa el usuario.

Dispositivos auditivos: Generan una señal auditiva al realizar una acción determinada.

Realidad Aumentada: (R.A: *Augmented reality*) consiste en superponer al entorno real la información que nos interesa visualizar. Intenta mejorar la percepción del mundo real agregando información gráfica y de texto. Está técnica se emplea en aeronáutica proyec-



Figura 1. Anatomía ósea del hombro derecho obtenido del proyecto humano visible.

tando los datos en el parabrisas del avión, evitando tener que mover la vista. Quizá fuese útil superponer en el monitor de Rx o de artroscopia la localización de estructuras importantes para evitar su lesión.

MATERIAL Y MÉTODOS

Por lo anteriormente expuesto, pensamos que un entrenador para cirugía artroscópica, basado en técnicas de Realidad Virtual aplicable para el aprendizaje y la enseñanza de la artroscopia es un reto complejo, pero factible. Hemos elegido la articulación del hombro, por ser de difícil aprendizaje, de patología muy frecuente y para la que se están diseñando nuevas instrumentaciones que requieren aprendizaje y actualización continua.

Este proyecto se ha estructurado en varias fases evolutivas, de menor a mayor complejidad.

La primera fase ha consistido en la realización de un simulador que nos permitiera el aprendizaje de la triangulación.

Para ello obtuvimos una imagen tridimensional, virtual, –ósea– de un hombro humano, partiendo de los datos del Proyecto Humano Visible de la Biblioteca Nacional de los EE UU⁽¹⁾.



Figura 2. Dispositivo VLI (Virtual Laparoscopic Interface empleado).

Sobre estos datos se realizó un complejo proceso para convertir los volúmenes en formas geométricas usando técnicas de geometría computacional, (modelado y “rendering”) permitiendo el sombreado y la posibilidad de cálculos de deformación de superficie, reduciendo la complejidad de los datos y logrando una representación en tiempo real (**Figura 1**). Como es lógico, variando los parámetros, podemos actuar sobre un hombro derecho o izquierdo, o actuar sobre un paciente en decúbito lateral o en posición de “silla de playa” o en cualquier colocación.

La herramienta empleada ha sido *Open Inventor* sobre Open GL, usando C/C++ como lenguaje de programación. Inicialmente trabajamos con una estación Silicon Graphics O2⁽¹²⁾, pero debido a su alto coste se varió para poder ser empleada en un PC estándar con un procesador Pentium a 1,7 GHz^(8,13) y bajo un sistema operativo GNU/Linux, con una tarjeta gráfica avanzada.

Como dispositivo de control se ha empleado un dispositivo VLI (*Virtual Laparoscopic Interface*) de la compañía Immersion⁽¹⁴⁾ (**Figura 2**).

Consiste en una base fija y dos brazos, unidos a la misma mediante sendas articulaciones, desarrollando el software adecuado para el mismo^(12,15).



Figura 3. Visualización de las estructuras ósea gleno-humeral y el dispositivo palpador.

De esta forma, en uno de los controles hemos simulado una cámara de artroscopia con una angulación a 30°, (siendo factible seleccionar otras angulaciones), de forma que al mover el mismo varíe la imagen visualizada, y en el otro controlador se simula un palpador, (**Figura 3**) de forma que hay que intentar alcanzar con el mismo las zonas que queremos (el fundamento de la triangulación). El primer controlador dispone de cuatro grados de libertad de movimiento (ejes X, Y y Z y rotación) y el segundo de cinco (ejes X, Y y Z, rotación y posibilidad de abrir y cerrar una pinza o poner en marcha una fresa o un sinoviotomo). Se conectan al ordenador con un puerto serie estándar (RS-232) proporcionando unas 1.000 medidas por segundo, con una resolución lineal de 0,05 mm y angular de 0,064 grados, inmune al ruido y a las fuentes electromagnéticas. (Se ha comprobado que la velocidad mínima para la generación de imágenes es de 10 por segundo. Por debajo de esta cifra el movimiento es muy brusco, siendo recomendable mayor a 30^º).

La imagen visualizada en el monitor puede ser única (como la que estamos acostumbrados a ver en una artroscopia, circular con un triángulo que marca la rotación de la cámara) o asociada a una imagen panorá-



Figura 4. Imagen "artroscópica" y panorámica para "situarnos" en caso de pérdida de las referencias.



Figura 5. Mejora de la imagen inicial por modelado y rendering (geometría computacional).

mica del conjunto (como si alejásemos nuestro punto de vista fuera de la escena y observásemos desde lejos el conjunto óseo, la cámara y el palpador, señalando un cono de distinto color la zona que estaríamos visualizando con nuestra supuesta cámara) (representado en la **Figura 4**) Por razones didácticas esta doble imagen puede ayudar en los casos en que el usuario está completamente desorientado y corregir la posición de nuestros instrumentos⁽¹³⁾.

La segunda fase (en la que estamos trabajando actualmente) tiene como objetivo proporcionar sensación de "tacto" al interaccionar con las mismas.

Para ello hemos individualizado las estructuras óseas (es decir, hemos "separado" la escápula del húmero y mediante un programa VRML 1.0 (Virtual Reality Modeling Language –que es el lenguaje de programación estándar en generación de ambientes de 3D, y se emplea en el desarrollo de simuladores, películas actuales y videojuegos–) podemos articular uno sobre otro, variando la posición de los mismos (es decir, lograr dis-



Figura 6. Visualización de la imagen obtenida con el empleo del controlador háptico. La esfera azul representaría el extremo de nuestro palpador y el vector rojo representa la reacción a la fuerza aplicada para palpar en este caso a la zona subacromial. Los otros ejes son las referencias de nuestra situación espacial.

tinta abducción-adducción, rotaciones o antepulsión-retropulsión) (Figura 5).

Como dispositivo de control se ha empleado un controlador háptico (de la casa Phantom®), obteniendo una sensación táctil al desplazar el mismo sobre una superficie virtual, desarrollando un software que visualiza una imagen con las coordenadas cartesianas del palpador, así como un vector de “fuerza” (o de reacción) proporcional a la fuerza aplicada (Figura 6).

DISCUSIÓN

El empleo de técnicas basadas en Realidad Virtual en el campo de la Medicina no es novedoso, apareciendo numerosos trabajos en cualquier búsqueda bibliográfica que realicemos sobre distintas herramientas tanto para la enseñanza de la anatomía^(2,3,11,16) como para el adiestramiento quirúrgico, tanto en cirugía artroscópica^(4,17,18) como en otras especialidades médicas^(2,19-24).

Este trabajo pretende ser una toma de contacto sobre el tema. Hay fases futuras previstas como pueden ser:

- Sistema de evaluación de la sesión de entrenamiento (mediante el registro del tiempo empleado por cada usuario en identificar ciertas estructuras, itinerario seguido—secuencial o aleatorio—, comparación con otros usuarios, etc.).

- Complementar la anatomía ósea con el resto de estructuras (músculos, ligamentos, etc.), partiendo de imágenes generadas por RNM.

- La definición de portales de entrada (anatomía de superficie), de forma que si ésta no es adecuada, no entremos en la articulación o no logremos visualizar ciertas zonas anatómicas (restricción de área).

- Posibilidad de actuar sobre estructuras óseas (p. ej. cambiando el terminal del palpador por una fresa).

- Actuación sobre zonas blandas.

- La suma de todas estas fases se encamina a la posibilidad de “operar” una estructura tridimensional reproducida a partir de los datos del paciente, es decir, “crear” una articulación virtual a partir de los datos de una RNM del individuo.

Todo este parece ciencia-ficción, pero recordemos que los simuladores de vuelo surgieron en la II Guerra Mundial para la formación de pilotos, por falta de aviones, combustible y tiempo de entrenamiento, consistiendo en el fuselaje de un avión desechado o en una carcasa de madera situada en un hangar, con los mandos de los timones y el acelerador—y así se entrenaron numerosos pilotos japoneses—, pareciendo increíble que la tecnología avanzase a los simuladores de vuelo actuales. Hoy no se concibe que un piloto vuele un avión sin antes haber entrenado en un simulador. Es posible que en un futuro no muy lejano practiquemos primero la intervención de forma simulada, y que dispongamos de Bibliotecas Virtuales (en Facultades y en Centros Específicos) de casos reales, tanto de patología frecuente como de procesos raros (al igual que existe un modelo anatómico normal—Proyecto Humano Visible— accesible a través de la red de Internet).

RESULTADO

Actualmente disponemos de un sistema que permite la visualización y el reconocimiento de las estructuras óseas anatómicas de un hombro normal, —tanto derecho como izquierdo— mediante dos actuadores que simulan a los empleados en cirugía artroscópica, facilitando la enseñanza de la triangulación.

CONCLUSIÓN

La Realidad Virtual tiene un potencial importante para la formación del especialista en Traumatología y Cirugía Ortopédica en la adquisición y perfeccionamiento de técnicas de cirugía artroscópica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Grigone C, Burdea y Philippe Coiffet. Virtual Reality Technology. 2ª Ed. John Wiley & Sons. Inc. Ed. Hoboken, New Jersey. 2003.
2. Hoffman HM. Virtual reality meets medical education. En: Morgan, R.M. Satava, H.B. Sieberg, R. Mattheus, y J.P. Christensen, Ed. Interactive Technology and the New Paradigm for Healthcare, IOS Press 1995: 130-136.
3. VR in medicine and biology group of the Univ. Of Sheffield. The sheffield knee arthroscopy training system (skats).
4. University of Hull. Virtual environment knee arthroscopy training system (ve-kats).
5. Geiger B, Kikinis R. Simulation of endoscopy. En: Nicholas Ayache, Ed. International Conference on Computer Vision, Virtual Reality, and Robotics in Medicine. Springer-Verlag 1995: 277-281.
6. Hunter IW, Jones L, Sagar M, Lafontaine S, Hunter P. Ophthalmic microsurgical robot and associated virtual environment. Computers in Medicine and Biology 1995; 25: 173-182.
7. Fernández Fernández-Arroyo, JM, Pastor Pérez L, Espadero Guillermo JM, Bayona Beriso S, Triviño Barros, G. Desarrollo de un entrenador para cirugía artroscópica de hombro mediante técnicas de realidad virtual. comunicación presentada en el IV Congreso Nacional de la Asociación Española de Investigación en Cirugía Ortopédica y Traumatología (INDESCOT). Oviedo, 24-25 Enero 2003. Publicado en Libro Resúmenes del Congreso. Páginas 26-27.
8. Fernández Fernández-Arroyo, JM, Pastor Pérez L, Espadero Guillermo JM, Bayona Beriso S, Triviño Barros G. Aplicaciones de técnicas de Realidad virtual en el desarrollo de un entrenador para cirugía artroscópica de hombro. Comunicación presentada en el XXI Congreso Nacional de la Asociación Española de Artroscopia. Zaragoza 15-17 Mayo 2003. Publicado en Libro Resúmenes del Congreso. Páginas 41.
9. Ferre Abelló AM. Realidad Virtual. La última frontera. Ed. Abeto 1996.
10. Sanz Adan FY, Blanco Fernández J. CAD-CAM. Gráficos, animación y simulación por computador. Thomson Editores Spain. Ed. Paraninfo S.A. 2002.
11. US National Library of Medicine. Medlineplus medical encyclopedia.
12. Bayona S, Pastor L, Espadero, J. Entrenamiento quirúrgico mediante técnicas de realidad virtual. Simulador para artroscopia. Technical report, Univ. Rey Juan Carlos. Julio 2002.
13. Bayona S, Espadero J, Fernández Fernández JM, Pastor L. A low-cost Arthroscopy Surgery Training System. Comunicación presentada en: International Conference of Visualization, Imaging and Image Processing. IASTED. 8-10 Septiembre 2003 Benalmádena. España.
14. Immersion Inc. www.immersion.com
15. Bayona Beriso, S. Entrenamiento quirúrgico mediante técnicas de realidad virtual. Simulador para artroscopia. Proyecto fin de carrera. Ingeniería Informática. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid. Junio 2002.
16. Northeast Parallel Architectures Center at Syracuse University. Npac-3d visible human. www.npac.syr.edu/projetscs/3Dvisiblehuman
17. Mabrey JD, Gillogly SD, Kasser JR, Sweeney HJ, Zarins B, Mevis H, Garrett WE Jr, Poss R, Cannon WD. Virtual reality simulation of arthroscopy of the knee. Arthroscopy 2002; 18(6): E28.
18. Pedowitz RA, Esch J, Snyder S. Evaluation of a virtual reality simulator for arthroscopy skills development. Arthroscopy Jul-Aug 2002; 18(6): E29.
19. Ferlitsch A, Glauning P, Gupper A, Schillinger M, Haefner M, Gangl A, Schoefl R. Evaluation of a virtual endoscopy simulator for training in gastrointestinal endoscopy. Endoscopy Sep 2002; 34(9): 698-702.
20. Hamilton EC, Scott DJ, Fleming JB, Rege RV, Laycock R, Bergen PC, Tesfay ST, Jones DB. Comparison of video trainer and virtual reality training systems on acquisition of laparoscopic skills. Surg Endosc Mar 2002; 16(3):406-11.
21. Fraunhofer IGD and University Hospital En: Mainz. Nasal endoscopy simulator (nes). www.inigraphics.net/publications/topics/2000/
22. University of Hull. Simvis surgical training. www2.dcs.hull.ac.uk/simmod/topics/surgical_training.htm
23. Forschungszentrum Karlsruhe. Virtual endoscopic surgery training.
24. Ahlberg G, Heikkinen T, Iselius L, Leijonmarck CE, Rutqvist J, Arvidsson D. Does training in a virtual reality simulator improve surgical performance? Surg Endosc Jan 2002; 16(1): 126-9.