

## ACTUALIZACIÓN

### Entrenador-Simulador Avanzado para el aprendizaje y entrenamiento de la Cirugía Artroscópica insightArthroVR®

InsightArthroVR®, Advanced Arthroscopic Training Simulator

Fernández Fernández-Arroyo JM<sup>1</sup>, Potti Cuervo J<sup>2</sup>, Illana Alejandro C<sup>2</sup>, Pastor Pérez L<sup>3</sup>, Rodríguez Martínez de Bartolomé A<sup>4</sup>, Bayona Beriso S<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hospital Severo Ochoa. Madrid. Director Médico del proyecto. <sup>2</sup> GMV, . <sup>3</sup> Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles (Madrid). <sup>4</sup> Universidad Politécnica de Madrid.

#### Resumen

Las técnicas de cirugía mínimamente invasiva son cada vez más frecuentes. Sin embargo, estas técnicas son procedimientos costosos, complejos y difíciles de dominar. Los actuales métodos de aprendizaje presentan limitaciones y son susceptibles de ser complementados por soluciones de alta tecnología como el presente simulador de realidad virtual.

El entrenamiento mediante simuladores mejora la destreza de los cirujanos en el uso del instrumental artroscópico, reduciendo el tiempo de la intervención, aumentando la seguridad y confianza del cirujano, disminuyendo el posible daño al paciente y permitiendo obtener experiencia en una gran variedad de patologías.

#### Palabras clave:

Artroscopia, realidad virtual, simulador quirúrgico virtual.

#### Abstract

Minimal Invasive Surgery (MIS) techniques are becoming more and more frequent. However these techniques are complex and expensive procedures difficult to master. Current learning methods have a number of limitations that can be compensated for and complemented by our virtual reality simulator.

Training with simulators considerably improves surgeons' dexterities with the arthroscopic instruments, reduces surgery times, increases surgery confidence and procedures safety, reducing the morbidity of real interventions and allowing obtaining experience in a large variety of pathologies.

#### Key words:

Arthroscopy, minimally invasive surgery, virtual reality, virtual surgical simulator.

## Introducción

La cirugía artroscópica es una técnica quirúrgica que ha experimentado un extraordinario auge. Beneficiados por el perfeccionamiento y la sofisticación de los medios diagnósticos no invasivos y a la mejora constante del instrumental artroscópico, hemos podido asistir a una rápida evolución de este tipo de cirugía, desde la realización de las primeras artroscopias meramente diagnósticas a complejos procedi-

mientos quirúrgicos. Sus ventajas obligan, sin embargo, a una formación adecuada y para llevar a cabo estas técnicas se requiere un aparataje complejo, costoso y preciso, implicando el desarrollo de habilidades nada intuitivas, de difícil enseñanza y laboriosa adquisición, tales como la orientación espacial tridimensional partiendo de imágenes bidimensionales, el problema de la triangulación, el uso de una óptica biselada con la posibilidad de rotar tanto el artroscopio como la fuente de luz, obligándonos a abstraernos de la posición anatómica real para orientarnos en la pantalla del monitor, proporcionándonos imagen articular «plana» y también la necesidad de desarrollar la ambidiestabilidad para la correcta realización de algunos gestos quirúrgicos.

#### Correspondencia

J. Potti Cuervo  
C/ Isaac Newton, 11 (PTM). Tres Cantos. 28760 Madrid.  
jpotti@gmv.es

Las principales vías para el aprendizaje práctico de este tipo de técnicas quirúrgicas son: el empleo de modelos anatómicos de plástico o fantomas, el estudio mediante videos y sistemas interactivos (multimedia), los cursos sobre cadáveres y la supervisión junto a cirujanos expertos, que nos enseñen y corrijan en nuestras intervenciones.

El objetivo de nuestra revisión propone el empleo de simuladores basados en técnicas de Realidad Virtual, una opción como herramienta formativa que se han extendido en numerosos sectores, como la aviación, transportes o entornos industriales, como los simuladores de vuelo, coches de carreras o de trenes. La medicina es otra de las áreas donde el potencial de utilización es muy grande al permitir mejorar, acelerar y sistematizar el complejo proceso de aprendizaje y contribuir por tanto a la mejora global y eficiencia del sistema sanitario [1-9].

En la cirugía convencional, el cirujano ve con sus ojos lo que está haciendo y toca con sus manos las estructuras sobre las que tiene que actuar. Por el contrario en la cirugía artroscópica no vemos directamente, sino a través de una cámara conectada a un monitor (lo que nosotros denominamos control visual indirecto), y tampoco tocamos directamente, sino a través de un instrumental específico, pasando de la sensación táctil clásica, el tener «buenas manos o dedos» a lo que denominamos como «sensación táctil instrumentada». Cualquier cirugía que cumpla estos dos requisitos puede ser candidata a su simulación para el aprendizaje.

El aspecto físico del simulador insightArthroVR® (Figura 1) es semejante a una situación artroscópica real y muy atractivo. Consta de una carcasa en plástico de la articulación en cuestión y dos elementos de realimentación de fuerzas situados a ambos lados. Los modelos de hombro y rodilla incluyen una amplia variedad de portales de entrada y sirven para que el usuario disponga de una referencia física con un ajuste perfecto con el modelo virtual. De este modo se obtiene un realismo excepcional en el manejo virtual del mismo con respecto a los movimientos físicos realizados.

Como otras características del simulador conviene destacar que emplea técnicas de realidad virtual que permiten interactuar con una anatomía virtual en tiempo real con gran precisión en la correlación entre nuestros movimientos en el mundo real y su reflejo en el mundo virtual. La interacción no es sólo visual por medio de la imagen virtual artroscópica o panorámica, seleccionable en todo momento, sino también táctil o háptica, de modo que el simulador transmite sensación de fuerzas al interactuar el instrumental con la anatomía.

El simulador insightArthroVR® es una herramienta multi-propósito adaptable a distintas articulaciones. En la ac-

tualidad, el sistema permite realizar ejercicios de formación en hombro y rodilla. En un futuro se irán añadiendo otras articulaciones.

Incluye instrumental simulado que se asemeja al instrumental utilizado en la práctica quirúrgica real en forma y textura, e incorpora todas las funcionalidades y grados de libertad reales. El instrumental es intercambiable de modo que puede practicarse el ambidestramiento, tan importante en la práctica artroscópica. Además, dispone de una secuencia didáctica completamente configurable sobre la que el cirujano en formación va desarrollando habilidades de forma progresiva y permite registrar los resultados de una sesión de simulación y compararlos con un patrón de referencia a modo de ejercicio magistral y obtener indicadores de destreza.

Por último, incluye modelos anatómicos de gran calidad validados por expertos anatomistas y artroscopistas. El sistema permite observar dichos modelos en visión 3D y ar-

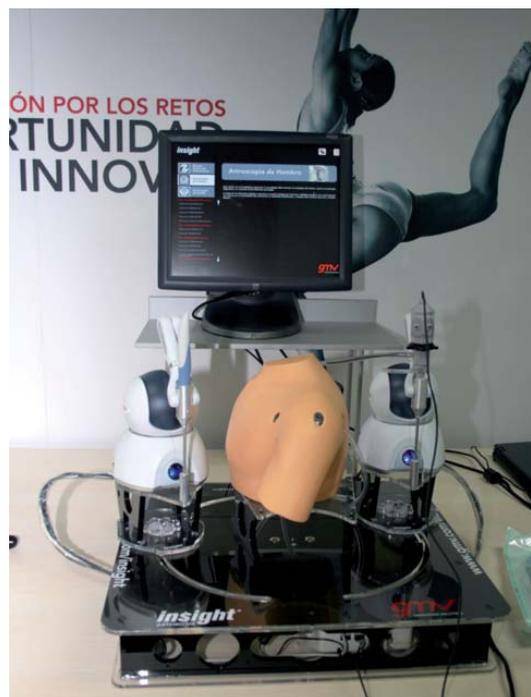


Fig. 1. Plataforma de trabajo, con la carcasa del hombro izquierdo en posición de semisentado, cámara artroscópica en la mano derecha del usuario y mango del palpador en la mano izquierda. En el monitor puede apreciarse la vista panorámica que guía al usuario en la comprensión del problema.

trascópica, eliminar capas de tejido con objeto de observar estructuras óseas y articulares, cambiar el punto de vista, rotar la anatomía y nivel de zoom, etc. El sistema dispone de anatomías sanas y con diversas patologías.

## Material y método

La realización de un simulador para la enseñanza y perfeccionamiento de la Cirugía Artroscópica es un reto muy complejo, pero factible. El simulador de realidad virtual insightArthroVR® es el resultado de un proyecto de investigación multidisciplinar e interinstitucional.

Este proyecto se ha estructurado de acuerdo a un ciclo de desarrollo incremental en varias fases evolutivas, de menor a mayor complejidad. La primera fase consistió en la realización de un simulador básico que nos permitiera:

- Familiarizarnos con el instrumental artroscópico.
- manipular correctamente dicho instrumental.
- Potenciar y facilitar el desarrollo de la ambidiestrabilidad.
- Aprender a «navegar» visualizando las estructuras óseas, manejo de cámara artroscópica, giros de fuente de luz y de artroscopio y a triangular, empleando un palpador virtual, en la otra mano.

Para esta primera fase empleamos un «VLI» (Virtual laparoscopic Interface, Inmersión®) estando muy limitadas sus posibilidades por la rigidez del sistema y por no tratarse de un dispositivo háptico.

La segunda fase consistió en adecuar el realismo, los dispositivos de control y el entorno de programación que abren nuevas posibilidades para elegir portales artroscópicos, patologías, técnicas, secuencias didácticas e itinerarios formativos personalizados e intuitivos. Permitió alcanzar sistemas de evaluación adecuados y homogéneos que cumplen con la Declaración de Bolonia para el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) y está dotado de interactividad al proporcionar la sensación de «tacto» real al interactuar el extremo virtual del instrumental artroscópico simulado con las estructuras anatómicas virtuales. Para ello se han desarrollado complejos algoritmos matemáticos, denominados como «detección de colisiones» y «cálculo de deformaciones en tiempo real» dentro de la geometría computacional, representando las estructuras blandas mediante imágenes deformables e incorporando tecnología GPU y métodos de integración numérica que permiten realizar una simulación realista en tiempo real.

A continuación se describen las características más destacables de nuestro simulador de realidad virtual insightArthroVR®, sus principales elementos, la secuencia didáctica que propone.

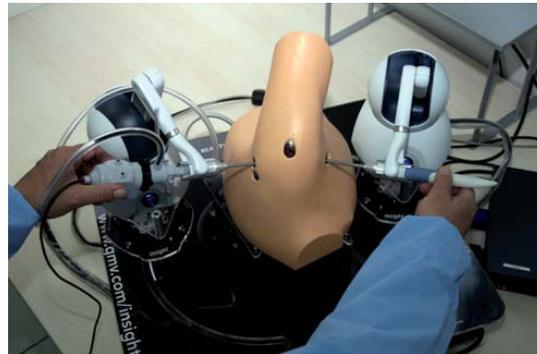


Fig. 2. Plataforma de trabajo, con la carcasa del hombro izquierdo en posición de decúbito lateral.

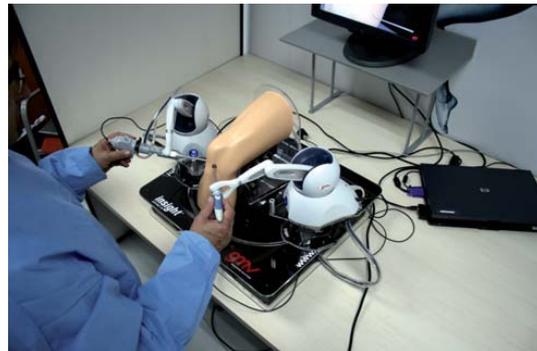


Fig. 3. Plataforma de trabajo, con la carcasa de la pierna, para la artroscopia de rodilla.

La plataforma de trabajo consta de una estructura base de metacrilato que se puede colocar sobre cualquier mesa de trabajo. En el centro está fijada una carcasa de plástico o fantoma, que representa la anatomía de superficie de la articulación sobre la que trabajar (Figuras 1, 2 y 3). La plataforma de trabajo permite intercambiar los fantomas con gran facilidad.

El modelo anatómico se ha realizado partiendo de la anatomía humana, imágenes de RNM y vídeos de cirugía artroscópica, reconstruida sobre modelos físicos con una técnica llamada esterolitografía, que obtiene reproducciones de modelos virtuales con un margen de error menor de un milímetro. Se han dispuesto una serie de orificios que corresponderían a los portales artroscópicos más frecuentes.

El entrenamiento artroscópico de la cirugía del hombro, se puede colocar tanto en decúbito lateral como en sedentación. La plataforma de trabajo acoge igualmente a los bra-

zos robóticos o dispositivos hápticos sobre plataformas que se pueden deslizar a través de guías según el ejercicio a realizar. El sistema dispone de sensores que detectan la posición de trabajo y recalibran el sistema apropiadamente.

## Material Artroscópico

A ambos lados de la carcasa de plástico o fantoma, van colocados unos brazos robóticos (Omni –SensAble®-) (Figuras 1 y 2).

El artroscopio (virtual): cámara y fuente de luz, de material plástico, simula una cámara artroscópica, dotada de dos cables de distinto color: uno, el blanco, simula el cable de la fuente de luz y el negro, el cable de la cámara que proporcionaría la imagen al monitor en el modelo real. Se ha provisto de un codificador de giro (encoder) suplementario pues no hay que olvidar que la óptica del artroscopio está biselada normalmente a 30°. Presenta dos posibilidades de giro: el giro de la fuente de luz y el giro de la cámara del artroscopio, como en la situación real. Esta complejidad de giro y su representación mental hace que la enseñanza de la artroscopia no sea fácil. En el simulador insightArthroVR® la angulación de la óptica está parametrizada, pudiendo elegir la angulación que queramos emplear [10]. Se han canalizado todas las señales por los puertos de comunicación adecuados, proporcionando más de 1,000 medidas por segundo, con una resolución angular de 0,35 grados. Las medidas obtenidas son inmunes al ruido, a la temperatura y a las fuentes electromagnéticas.

El instrumental artroscópico, palpador e instrumental (vaporizador, sinoviotomo, fresa o pinza artroscópica). Consta de un mango unido a una varilla metálica que introducimos por los portales adecuados para la instrumentación artroscópica. El ordenador genera una imagen virtual, apareciendo en nuestra pantalla un terminal de palpador, en forma de gancho, con las marcas «láser» de su longitud, un vaporizador, un terminal motorizado o una pinza, en función del instrumental que seleccionemos. Tanto el terminal del instrumental como el de la cámara se acoplan a los brazos robóticos mediante una pieza de anclaje, de fácil ajuste, permitiendo que su intercambio sea sencillo y rápido (Figura 2).

Trabajamos sobre modelos anatómicos tridimensionales propios, elaborados con programas específicos para la generación de imágenes tridimensionales basados en la información obtenida de literatura anatómica relevante, estudios de RMN e imágenes artroscópicas reales.

La imagen virtual se representa en una pantalla de un ordenador convencional. Nuestra «articulación» estaría situada en la posición correspondiente a la visión artroscópi-

ca, y la imagen representada varía al mover la cámara, tanto al hacer avanzar o retroceder como al girar la misma. Al emplear el palpador, este aparece en la pantalla, siempre que esté en la zona visualizada, y disponemos de un pulsador de ayuda, situado de forma ergonómica en la cámara artroscópica, que cambia de la imagen artroscópica a una visión externa o panorámica, muy útil en el caso de estar desorientados (Figura 4a,b,c,d,e,f).

El monitor es táctil con un interfaz de usuario intuitivo y de muy fácil manejo donde se visualizan las imágenes panorámicas y artroscópicas (Figura 4a,b,c).

El entorno de programación ha sido desarrollado bajo el sistema operativo Windows utilizando C++ como lenguaje de programación para la simulación del mundo virtual y Visual Basic.net para la interfaz gráfica. El motor gráfico y motor de física han sido desarrollados específicamente. El motor gráfico está basado en el estándar Open GL mientras que el motor de física implementa algoritmos de alto nivel para la simulación de la colisión, generación simulada de respuesta háptica, deformación y demás efectos necesarios durante la simulación [11].

## Protocolos de aprendizaje. Secuencia didáctica

En la secuencia didáctica del simulador insightArthroVR® lo primero es la ergonomía del instrumental. El ordenador nos pide que cojamos la cámara y el palpador y mediante fotografías reales que aparecen en la pantalla, comprobaremos si lo hacemos de forma correcta o incorrecta.

Un segundo bloque de ejercicios consiste en efectuar giros del artroscopio y de la fuente de luz, no sobre una articulación simulada, sino entrando en un quirófano virtual que aparece en la pantalla. Utilizamos para ello el artroscopio fijo en un portal, y realizamos los giros mencionados. Podemos ver como enfocamos la lámpara del quirófano simplemente girando 180° nuestro artroscopio, mirando hacia el techo de dicho quirófano, o como aumentamos el campo visual al retroceder el mismo o disminuimos nuestra área de visión al acercarnos a un objeto.

Para la fase de ejercicios artroscópicos, hemos diseñado unos ejercicios básicos progresivos en dificultad tanto para la navegación como para la triangulación. Los primeros consisten en visualizar centrando la imagen y manteniéndola estable un cierto tiempo sobre un conjunto de esferas de distintos colores que aparecen en ciertas zonas anatómicas de interés, basados en los protocolos habituales de exploración artroscópica de dicha articulación.

Se han diseñado otros ejercicios para ejercitar la triangulación. En estos se requiere que el alumno centre la esfera requerida en la cámara y sitúe el extremo del palpador den-

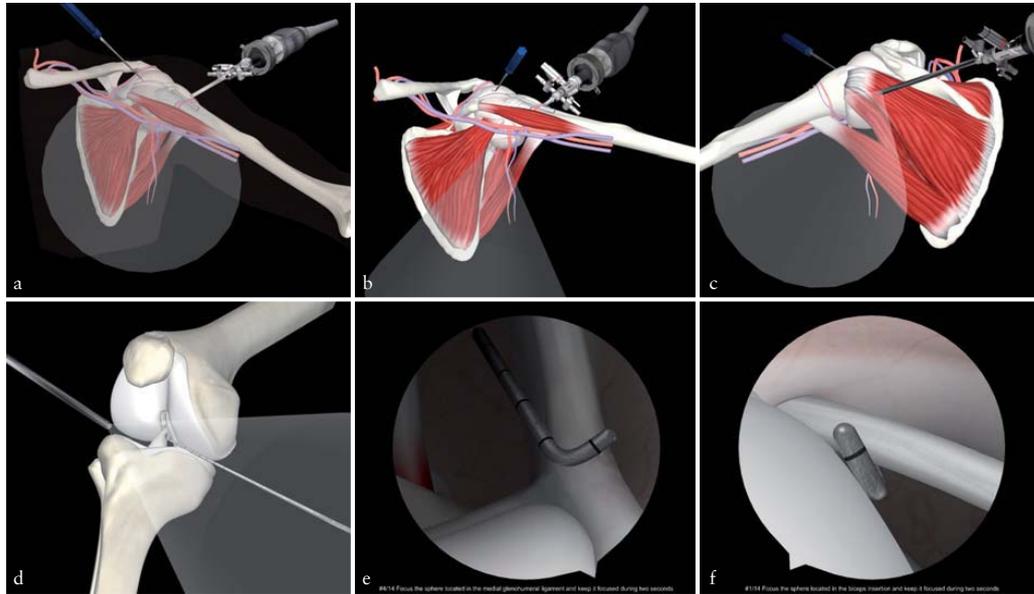


Fig. 4. Imágenes panorámicas (visión tridimensional) y artroscópicas generadas por el ordenador en tiempo real.

tro de la misma. Al introducir el extremo del palpador en dicha esfera, ésta cambia de color como elemento realimentación visual. Tras mantener el extremo del palpador de manera estable dentro de la esfera durante tres segundos, ésta desaparece, apareciendo otra nueva sobre otro elemento anatómico de interés para la exploración artroscópica y así sucesivamente hasta completar el recorrido que propone cada ejercicio. Tras realizar el ejercicio completo obtenemos un conjunto de métricas a partir de las que podemos derivar medidas objetivas de destreza y progreso realizado y una representación gráfica del mismo, tiempos y medidas de dispersión. El sistema permite distintos grados de dificultad con tamaños de esfera variables y ejercitarse en articulaciones normales y patológicas. Los ejercicios pueden repetirse tantas veces como se desee con distintas configuraciones y el sistema informático proporciona elementos de autoevaluación y autoaprendizaje.

Existen un amplio conjunto de módulos de formación extra en desarrollo incluyendo identificación de patologías, detección de inestabilidades, eliminación de cuerpos libres, fijación de anclajes, microfracturas, acromioplastia, meniscotomía y otros procedimientos quirúrgicos. La herramienta ofrece grandes posibilidades de formación mediante la adición de módulos extra.

## Enseñanza de la artroscopia

El ciclo de aprendizaje habitual de un cirujano contiene una fase de estudio seguido de un período de prácticas que consisten en la observación en quirófano de varias operaciones reales y su gradual incorporación en tareas auxiliares, ejecutadas bajo estricta supervisión del experto [12].

Las lecciones prácticas representan una dificultad en el proceso de aprendizaje, dadas las restricciones del número de intervenciones realizadas y el número de cirujanos que pueden admitirse en cada cirugía artroscópica que resulta más difícil y compleja, pues hay que supervisar una intervención a través de un monitor.

El empleo de modelos de plástico («fantomas») requiere disponer de un instrumental completo de artroscopia (torre, motores etc.), instrumental caro y con posibilidad de estropearse por un mal uso o descuido. Por otro lado los modelos plásticos se estropean con su uso en cada sesión de entrenamiento y puede convertirse en un proceso destructivo y su mayor realismo implica mayor precio, pudiendo proporcionar una formación insuficiente [6, 8, 13].

La realización de cursos en Hospitales monográficos es una de las opciones más recomendables, pero puede ser difícil por los problemas laborales, económicos, idiomáticos y familiares [13].



Los cursos de cadáver han de realizarse en la sala de disección limitadas por su capacidad y tiempo. Supeditados a una normativa legal cada vez más compleja, requieren el uso de un instrumental artroscópico completo. Su utilización está limitada en cuanto a su uso y patologías por variaciones anatómicas, cambios degenerativos, etc. Por otra parte, la utilización de animales con fines educativos cuenta con crecientes restricciones legales y su eficacia es relativa dadas las diferencias anatómicas con el hombre [13].

La cirugía endoscópica en general y artroscópica en nuestro caso, dadas sus características de visión y manipulación indirecta, abre una interesantísima área de investigación y desarrollo en el campo de la simulación, para apoyar las técnicas tradicionales de aprendizaje y ayudar a los cirujanos en formación en el aprendizaje básico de la artroscopia.

Las nuevas tecnologías de realidad virtual conjugan el realismo con la interacción [1,3]. Su utilización en medicina no es nuevo. En 1996 la AAOS comenzó a plantearse un ambicioso proyecto de simulación en artroscopia de rodilla [8] para la formación de residentes. Hay abundantes referencias bibliográficas y trabajos publicados sobre distintas herramientas tanto para la enseñanza de la anatomía [5, 6, 14], como para el adiestramiento quirúrgico, tanto en cirugía artroscópica [4, 7, 15-21] como en otras especialidades médicas [22-25].

Sherman et al. [18] desarrollaron un simulador para la artroscopia de rodilla (Virtual Environment Knee Arthroscopy Training System VE-KATS). Heng et al. [17] fabricaron un sistema para artroscopia de rodilla sobre un modelo de caja en vez de una estructura de pierna, partiendo de una imagen del proyecto humano visible. McCarthy [7] y Moody [20] publicaron sus trabajos sobre el Sheffield Haptic Knee Arthroscopy Training System (WISHKATS), para el entrenamiento de triangulación y diagnóstico artroscópico. Bliss et al. [21], por su parte, mostraron la experiencia obtenida en la formación artroscópica manipulando el artroscopio y el palpador, identificando estructuras anatómicas y localizando cuerpos libres en artroscopia de rodilla con el «*Procedicus Virtual Arthoscopy Knee trainer*» (Mentice Corp).

El material artroscópico simulado es una réplica del empleado habitualmente, logrando que el artroscopista en formación se familiarice con el empleo del instrumental real. La imagen se presenta en una pantalla táctil de alta definición, variando instantáneamente al girar el artroscopio. Pulsando un botón de ayuda, situado en la carcasa del artroscopio, aparece una visión panorámica, muy útil y didáctica para orientarse. Esta posibilidad no es factible en el caso de usar cadáveres o fantasmas de plástico, pues el orde-

nador conoce las coordenadas de los instrumentos y genera instantáneamente la visión tridimensional anatómica disponible en la memoria del sistema [26].

La posibilidad de ir eliminando o añadiendo capas anatómicas es una novedad que no ofrece ningún otro sistema de enseñanza, didáctico para la comprensión tridimensional de la anatomía de las articulaciones [26].

La imagen en pantalla se refresca 60 veces por segundo (la velocidad mínima para visualización realista de imágenes se encuentra entorno a 14 ó 15 imágenes por segundo, pues por debajo el movimiento es muy brusco, recomendando una velocidad de 30 imágenes por segundo [1, 8]. En el cine esta cifra es de 20 a 25 fotogramas o imágenes por segundo, proporcionando una imagen continua, sin parpadeo, que es percibida como totalmente real. La latencia es de unos 10 msec [10].

La imagen generada debe ser lo más parecida a la anatomía real, para proporcionar el realismo requerido [8]. Inicialmente partimos de los datos del Proyecto Humano Visible al igual que otros grupos de trabajo [8,14] para el estudio anatómico virtual y su empleo en simuladores artroscópicos de rodilla. Actualmente disponemos de modelos anatómicos propios.

El monitor es un equipo de altas prestaciones y de fácil manejo. El objeto de ser táctil es que podemos variar con un simple «toque» y «arrastre» sobre la pantalla modificando el punto de vista tanto de la anatomía como de la visión artroscópica [26]. Cabe destacar que la anatomía es susceptible de poder ser visualizada a voluntad en distintos niveles de capas anatómicas hasta dejar sólo la estructura ósea (Figuras 4a,c,f).

## Entorno de programación

La programación se ha llevado a cabo utilizando los programas más avanzados para la representación virtual tanto anatómica como artroscópica [10,11,13,26]. Hay que destacar que una de las claves del simulador insightArthroVR® supone la integración de dos dispositivos hápticos con el *software* de simulación que puede ejecutarse en ordenadores «normales», fácilmente portables, sin requerir de super-computadores, habiéndose logrado actualmente una de las aplicaciones hápticas más realista y lograda.

El sistema incluye sofisticados algoritmos de síntesis de imágenes e interacción con la anatomía que suponen complejos cálculos de detección de colisiones y de fuerzas así como de las deformaciones en tiempo real, que suponen un reto para la potencia de los ordenadores actuales y se sitúan en los problemas más complejos para la tecnología informática. De esta forma se pretende que la experiencia senso-



rial (visual y háptica) sea lo más parecida a la realidad, lo que aumenta el grado de inmersión en la realidad virtual y, por tanto, la experiencia formativa sea lo más enriquecedora posible [12, 26].

## I Protocolos de aprendizaje. Secuencia didáctica

En cuanto a la ergonomía del instrumental hay que destacar la escasa importancia que se da a este aspecto en los manuales de artroscopia. Algunos de ellos nos muestran fotografías con motores artroscópicos asidos de forma poco correcta, con lo que es muy difícil manejar los botones del mismo.

Referente a los ejercicios de giros del artroscopio y fuente de luz, «navegando» sobre un quirófano virtual, es una idea original, muy bien valorada por ser didáctica, útil y novedosa. Es frecuente ver el poco uso de las posibilidades de giro, supliéndose por los desplazamientos del artroscopio, a veces muy forzados o complicados, y la poca mención que se hace de esta posibilidad para visualizar toda la articulación sin desplazar el artroscopio de la posición de partida, requiriendo más de un año de experiencia su adquisición en quirófano.

Los ejercicios artroscópicos se han diseñado según los protocolos habituales de exploración artroscópica. El simulador insightArthroVR® permite registrar los resultados de la práctica y obtener indicadores fiables del grado de destreza adquirido por el cirujano [10].

La simulación, como nueva tecnología para la docencia genera entornos reales que no se deteriora con el uso. Permite realizar una formación «personalizada», adaptada a las características del individuo diseñando su propio itinerario formativo. Posibilita la repetición de los ejercicios hasta su ejecución correcta, tanto en su forma como en el tiempo requerido. Tiene la capacidad de almacenar y recuperar fácilmente el historial de aprendizaje, incorporar el conocimiento del experto en la propia aplicación a través de la creación de un conjunto completo de casos de entrenamiento y a una evaluación formal del ejercicio.

La sistemática seguida logra alcanzar criterios y metodologías comparables que permitan la creación de sistemas de evaluación adecuados y homogéneos adaptados a la Declaración de Bolonia. La secuencia didáctica de insightArthroVR® está orientada a cumplir los protocolos de enseñanza elaborados por el Consejo Europeo [27] considerando que la enseñanza debe ser interdisciplinaria para contribuir a una mayor capacidad de innovación y creatividad.

Estudios realizados con varios simuladores de endoscopia [22-25] demuestran que los cirujanos que han recibido formación complementaria con un simulador laparoscópico

mejoran su rendimiento. Similares resultados se obtienen con los simuladores de artroscopia de rodilla [18-21, 28] publicando que la artroscopia virtual es más difícil que la real, anotando esta observación como una ventaja de la enseñanza mediante simuladores [7]. Que un cirujano realice un cierto número de procedimientos artroscópicos no necesariamente significa que los ejecute de forma eficaz, sin embargo se acepta que el aumento de la experiencia se correlaciona con un mejor resultado quirúrgico y quizá, en el futuro podamos evaluar mediante simuladores la eficacia de los procedimientos quirúrgicos [7, 24].

McCarthy et al. [7] valoraron, sobre el simulador de rodilla SKATS, los resultados de cirujanos expertos con inexpertos observando que los resultados de estos últimos se aproximan a los primeros tras 10 sesiones de entrenamiento. Pedowitz et al. [16] compararon las habilidades quirúrgicas demostradas en el simulador de cirugía artroscópica de hombro (Mentice Corp. Gothenberg, Suecia).

La enseñanza mediante simulación quirúrgica aporta la realización de intervenciones quirúrgicas en un menor tiempo, con mayor seguridad, logrando una mejor economía de movimientos y produciendo un menor daño al paciente [25].

Probablemente, en versiones futuras con un muy alto grado de realismo, la realidad virtual pueda llegar a constituir una verdadera herramienta de planificación y prueba de nuevas técnicas o instrumental y practicar cirugías infrecuentes o muy complejas. Valoramos una fase futura y más ambiciosa del proyecto consistente en la creación de bibliotecas o bancos de casos, tanto normales como patológicos y la posibilidad de «importar» los datos de la RNM de un paciente generan la imagen del simulador para que podamos planificar y entrenar una cirugía concreta en el simulador, previa a la cirugía real.

El objetivo de la inversión en la formación médica es mejorar la calidad asistencial con una adecuada inversión y seguimiento de su efectividad y la realidad virtual tiene un potencial importante para la formación del especialista en Traumatología y Cirugía Ortopédica en la adquisición, perfeccionamiento y evaluación de técnicas de cirugía artroscópica.

El simulador de artroscopia insightArthroVR® ofrece la posibilidad a los cirujanos en formación de adquirir habilidades en el manejo de instrumental artroscópico y habituarse a la visión indirecta de la artroscopia, resultando de este modo una herramienta de formación complementaria a las existentes en la actualidad. Es un desarrollo de alta tecnología, una herramienta multipropósito que se adapta a diferentes técnicas artroscópicas e incluye diversos modelos



anatómicos e instrumental artroscópico de alta fidelidad que permite percibir sensaciones muy realistas. Se puede utilizar en diferentes articulaciones, con el fin de aplicarlo a la planificación de un acto quirúrgico real. El potencial formativo y evaluador del simulador es capaz de homogeneizar la metodología formativa, y siendo muy bien acogido por parte de los artroscopistas.

### Agradecimientos

Queremos mostrar nuestro especial agradecimiento al Dr Golanó Álvarez, por su inestimable colaboración en las labores de validación y ajuste de los modelos anatómicos del simulador. Al Ministerio de Ciencia y Tecnología, Comunidad de Madrid, Ministerio de Educación y Ciencia, y Centro de Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) por su apoyo financiero a lo largo de las diversas fases de desarrollo de este proyecto. A la Asociación Española de Artroscopia por su decidido apoyo institucional. ■

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Satava RM. Virtual reality surgical simulator: the first steps. *Clin Orthop*. 2006; 442:2-4.
- Hunter IW, Jones L, Sagar M, Lafontaine S, Hunter P. Ophthalmic microsurgical robot and associated virtual environment. *Computers in Medicine and Biology* 1995; 25:173-82.
- Blackwell M, Morgan F, DiGioia AM. Augmented reality and its future in orthopaedics. *Clin Orthop* 1998; 354:111-22.
- Müller W, Bockholt U, Lahmer A, Voss G, Börner M. VRATS Virtual Reality Arthroscopy Training Simulator. *Radiologe* 2000; 40: 290-4.
- Hariri S, Rawn C, Srivastava S, Youngblood P, Ladd A. Evaluation of a surgical simulator for learning clinical anatomy. *Med Educ* 2004; 38:896-902.
- Heng PA, Cheng CY, Wong TT, Wu W, Xu Y, Xie Y, et al. Virtual reality techniques. Application to anatomic visualization and orthopaedics training. *Clin Orthop*. 2006; 442:5-12.
- McCarthy AD, Moody L, Waterworth AR, Bickerstaff DR. Passive haptics in a Knee arthroscopy simulator: is it valid for core skills training? *Clin Orthop*. 2006; 442:13-20.
- Cannon WD, Eckhoff DG, Carrett WE Jr, Hunter RE, Sweeney HJ. Report of a group developing a virtual reality simulator for arthroscopic surgery of the knee joint. *Clin Orthop* 2006; 442:21-9.
- Cameron BM, Robb RA. Virtual-reality-assisted interventional procedures. *Clin Orthop*. 2006; 442:63-73.
- Bayona Beriso, S. Metodologías de aprendizaje y evaluación para simuladores quirúrgicos de realidad virtual. Aplicación en simuladores artroscópicos. Tesis Doctoral. Universidad Rey Juan Carlos de Madrid. Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial. Julio 2007.
- Bayona S, García M, Mendoza C, Fernández Fernández-Arroyo JM. Shoulder Arthroscopy Training System with force Feedback. *Proceeding of Medical Information Visualisation-BioMedical Visualisation*. Ed. Gordon Clapworthy, Crish Moore. IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA. 2006: 71-76.
- Moody L, Arthur J, Zivanovic A, Waterworth A. A part-task approach to haptic knee arthroscopy training. *Stud Health Technol Inform*. 2003; 94: 216-8.
- Fernández Fernández-Arroyo JM, Espadero Guillermo JM, Bayona Berilo S, Garcia Lorenzo M, Toharia Tabasco P. Proyecto SARA (Simulador Artroscópico Avanzado). Simuladores en la formación y docencia de la cirugía artroscópica de hombro mediante técnicas de realidad virtual. *Span J Res* 2005; 8:13-9.
- Zhang Sx, Heng PA, Lui ZJ, Tan LW, Qiu MG, Li QY, et al. The Chinese Visible Human (CVH) datasets incorporate technical and imaging advances on earlier digital humans. *J. Anat* 2004; 204:165-73.
- Poss R, Mabrey JD, Gillogly SD, Kasser JR, Sweeney HJ, Zarins B, et al. Development of a virtual reality arthroscopic knee simulator. *J Bone Joint Surg (Am)* 2000; 82-A:1495-9.
- Pedowitz RA, Esch J, Snyder S. Evaluation of a virtual reality simulator for arthroscopy skills development. *Arthroscopy* 2002; 18: E29.
- Heng PA, Cheng CY, Wong TT, Yangsheng X, Chui YP, Chan KM, et al. Virtual reality based system for training on knee arthroscopic surgery. *Stud Health Technol Inform* 2004; 98:130-6.
- Sherman KP, Ward JW, Wils DP, Mohsen AM. A portable virtual environment knee arthroscopy training system with objective scoring. *Stud Health Technol Inform*. 1999; 62: 335-6.
- 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:E28.
- Moody L, Waterworth A. A flexible virtual tutorial for the training and assessment of arthroscopic skills. *Stud Health Technol Inform*. 2004; 98:244-6.
- Bliss JP, Hanner-Bailey HS, Scerbo MW. Determining the efficacy of an immersive trainer for arthroscopy skills. *Stud Health Technol Inform* 2005; 111:54-6.



22. 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* 2002; 16:406-11.
23. 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* 2002; 34:698-702.
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* 2002; 16:126-9.
25. Shijven M, Jakimowicz J. Construct validity: experts and novices performing on the Xitact LS500 laparoscopy simulator. *Surgery Endoscopy* 2003; 17:803-10.
26. Illana Alejandro C, Potti Cuervo J, Fernández Fernández-Arroyo JM, Pastor Pérez L, Espadero Guillermo JM, Bayona Beriso S, et al. Entrenador-simulador avanzado para el entrenamiento de la artroscopia Insight-Mist. *Span J Res* 2004; 7:217.
27. Recomendaciones del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente (Bruselas. 2005: 10-11) [http://ec.europa.eu/education/policies/2010/doc/keyrec\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/education/policies/2010/doc/keyrec_es.pdf).
28. O'Neill PJ, Cosgarea AJ, Fredman JA, Queale WS, McFarland EG. Arthroscopic proficiency: a survey of orthopaedic sports medicine fellowship directors and orthopaedic surgery department chairs. *Arthroscopy* 2002; 18:795-800.

#### Conflicto de intereses

La tecnología y desarrollos presentados en este trabajo han sido financiados parcialmente por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (proyecto TIC2003-08933-C02-0), por la Comunidad de Madrid (S-0505/DPI/0235 y GR/SAL/0940/2004), por el Ministerio de Educación y Ciencia (FIT-300100-2004-21), por el CDTI (04-0698) y por el Ministerio de Industria (convocatoria PROFIT 2006).

Los autores de esta publicación no hemos recibido ayuda económica alguna para la redacción del mismo. Tampoco hemos firmado ningún acuerdo por el que vayamos a recibir beneficios u honorarios por parte de alguna entidad comercial como resultado del mismo.