



VII CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD

16-18 junio 2016
Unidad de Seminarios, BUAP

"GENERACION DE NUEVAS TECNICAS DE DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO"



SIMULACIÓN DE REPARACIÓN DE ANEURISMAS USANDO REALIDAD VIRTUAL PARA EL ENTRENAMIENTO MÉDICO EN MICROCIRUGÍA CEREBROVASCULAR

Sergio Teodoro Vite^{a,1}, David A. Soriano Valdez^a, Alfonso Gastélum Strozzi^a, Fernando Arámbula Cosío^a, Aldo Hernández Valencia^b, Miguel A. Padilla Castañeda^{a,2}

^aUnidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CCADET, UNAM, Hospital General de México "Dr. Eduardo Liceaga"

^bUnidad de Neurología y Neurocirugía, Hospital General de México "Dr. Eduardo Liceaga"
[1sergioteovit@comunidad.unam.mx](mailto:sergioteovit@comunidad.unam.mx), [2miguel.padilla@ccadet.unam.mx](mailto:miguel.padilla@ccadet.unam.mx)

RESUMEN

En este trabajo se presenta un primer prototipo de simulación experimental para el procedimiento de reparación de aneurismas, proyecto en desarrollo por la Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico (UIDT) en el Hospital General de México "Dr. Eduardo Liceaga" del CCADET de la UNAM. El sistema actual consta de una interfaz de usuario, la cual administra los datos de experimentación, simulación y análisis. Desde esta interfaz general, un usuario puede ejecutar una simulación usando el motor de física SOFA (*Simulation Open Framework Architecture*). Este último, recibe como datos de entrada un conjunto de modelos anatómicos de la cabeza y datos iniciales para la simulación (colisiones, parámetros de deformación y de mapeo).

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de simuladores para el entrenamiento médico se ha reportado desde hace más de 30 años, siendo la realidad virtual y la robótica los campos que mayor impacto han brindado en términos de nuevas tecnologías[1]–[3]. Entre las ventajas del uso de estos sistemas se encuentran: su bajo costo relativo al entrenamiento (al no requerir tiempo de quirófano), la alta disponibilidad sin comprometer infraestructura médica y la seguridad para el paciente [4][5]. Algunos ejemplos de sistemas de simulación médica que se pueden encontrar en la literatura son: el simulador de cirugía de la próstata de la UNAM, México[6], el simulador para cirugía oftalmológica de la Universidad de Tokyo, Japón[7], el simulador de cirugía para aneurismas cerebrales de la Universidad de Illinois, EUA[8], y *NeuroTouch*, del Consejo Nacional de Investigación de Canadá[9].

En particular, en microcirugía cerebrovascular, los simuladores computarizados tienen un alto potencial; sin embargo, implican retos importantes en términos de cálculo y de experimentación científica, debido a que se trata de procedimientos de alta precisión, que involucran interacciones complejas y conllevan riesgos de mortalidad o de daño permanente al sistema nervioso y estructuras circundantes[10]. Un procedimiento común y de alto riesgo, es la reparación de aneurismas cerebrales. Un aneurisma es una región débil de la pared de un vaso sanguíneo que provoca abultamientos, lo que tiene como consecuencia directa la alteración del flujo sanguíneo (Figura 1).

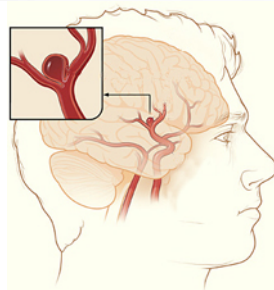


Figura 1. Ilustración de un aneurisma cerebral (MedlinePlus).

Los procedimientos más comunes para la reparación de un aneurisma cerebral son: el *clipaje* y la reparación endovascular. Para fines de este trabajo se aborda la primera, la cual consiste en la colocación de una pinza de metal en la base del cuello del aneurisma para evitar que se abra o se rompa. Este procedimiento involucra la apertura de parte del cráneo, por lo que se lleva a cabo mediante craneotomía abierta, el cirujano emplea un microscopio, herramientas que le permiten aspirar líquidos o acumulación de sangre y pinzas microscópicas para abrirse paso a través de los tejidos cerebrales.

2. METODOLOGÍA

El prototipo experimental de simulación está compuesto por cinco estados principales: 1) escena de visualización, 2) mapeo, 3) modelo biomecánico, 4) detección de colisiones e 5) interacción háptica (dispositivos *Geomagic Omni Phantom*). Cada uno de estos estados interactúan de manera concurrente para lograr una simulación en tiempo real (Figura 2).

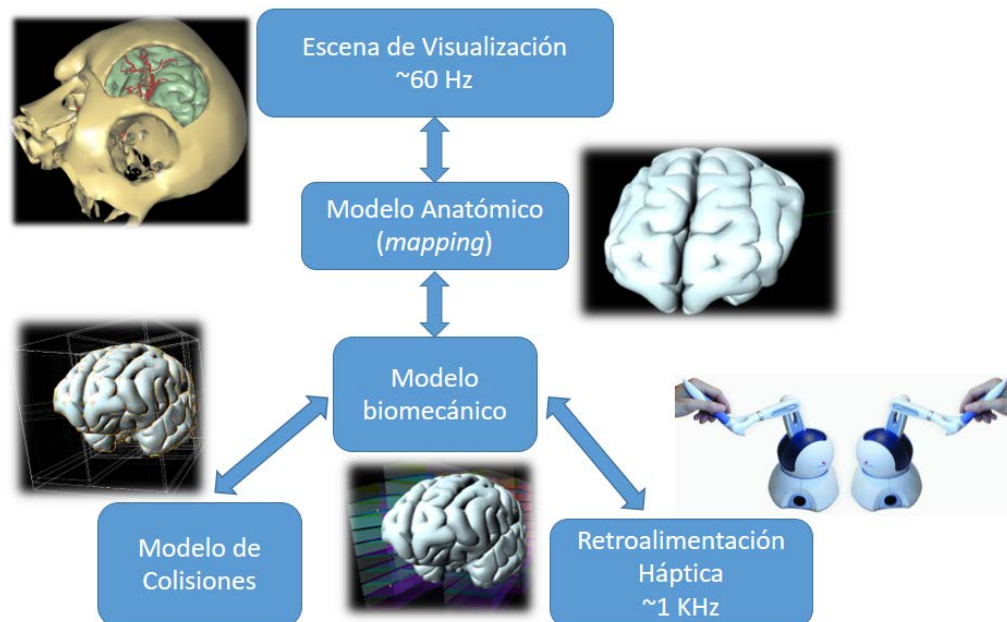


Figura 2. Módulos principales para la simulación de objetos dinámicos y su interacción con el usuario.



Para dotar al sistema de realismo biomecánico, se empleó SOFA[11] del INRIA (Francia), un motor de simulación basado en física y un marco de trabajo que implementa el concepto de representación multi-modelo basada en grafos de escena. El objetivo es construir escenas compuestas por un número arbitrario de objetos que interactúan bajo un conjunto de restricciones espaciales y ecuaciones que describen el comportamiento biomecánico de los objetos.

La gran ventaja de emplear un esquema multi-modelo, es que se puede manejar cada espacio de trabajo de manera independiente para después sincronizarlos mediante una operación llamada de "mapeo". Así, durante una simulación se definen tres espacios principales: un espacio geométrico de visualización, un espacio de colisiones y un espacio mecánico sobre el cual opera el modelo biofísico (**Figura 3**). El modelo dinámico para la deformación del tejido se basa en la mecánica de los medios continuos y de manera generalizada se describe por la ecuación:

$$M\ddot{\underline{u}} + D\dot{\underline{u}} + K\underline{u} = \underline{f}$$

Donde M es la matriz de masa, $\ddot{\underline{u}}$ es el vector de aceleración de la deformación, D es el amortiguamiento, $\dot{\underline{u}}$ la velocidad de la deformación, K la matriz de rigidez (definida en términos del Módulo de *Young* y el Radio de *Poisson*), \underline{u} es el vector de deformación y \underline{f} es la suma de fuerzas externas que actúan sobre el modelo.

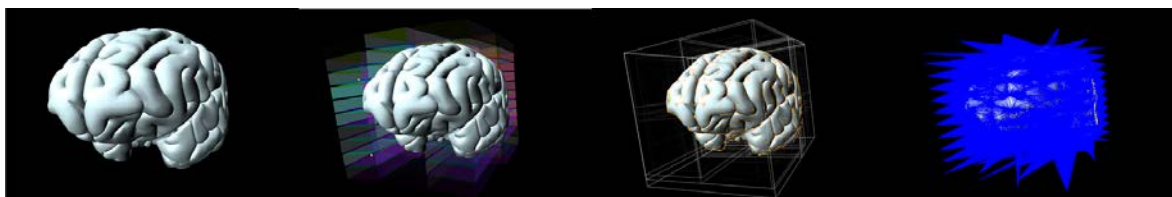


Figura 3. Representación multi-modelo de un objeto deformable en SOFA; a) modelo visual o geométrico, b) espacio biomecánico definido como un conjunto de hexaedros que envuelven el modelo geométrico (FEM-Finite Element Method/FFD-Free Form Deformation), c) espacio de colisiones que emplea el algoritmo de octrees y d) mapeo entre espacios.

3. EXPERIMENTOS

Se llevaron a cabo un conjunto de experimentos con la biblioteca SOFA, que involucraron desde pruebas con diferentes geometrías, hasta pruebas con los diferentes modelos biomecánicos disponibles. El grupo de experimentos se dividió en: 1) modelos deformables, 2) interacción con herramientas, 3) visualización e 4) integración. Estas últimas pruebas tuvieron como objetivo agregar realismo biomecánico a una versión anterior (estática) del simulador (Soriano et. al. [12]).

Para los modelos deformables, se probaron tres métodos: masas-resortes, elemento finito (FEM) con tetraedros y deformación libre de forma (FFD). Los primeros dos funcionan con tres mallas: una malla triangular a alta resolución para la visualización, una malla de tetraedros para el método FEM y una malla triangular a baja resolución para el cálculo de colisiones. El método FFD funciona con dos mallas y una definición del espacio; la primera malla corresponde al modelo visual en alta resolución, la segunda al espacio de colisiones a baja resolución y el espacio se define en términos del número de subdivisiones en XYZ de la caja que contiene al objeto.

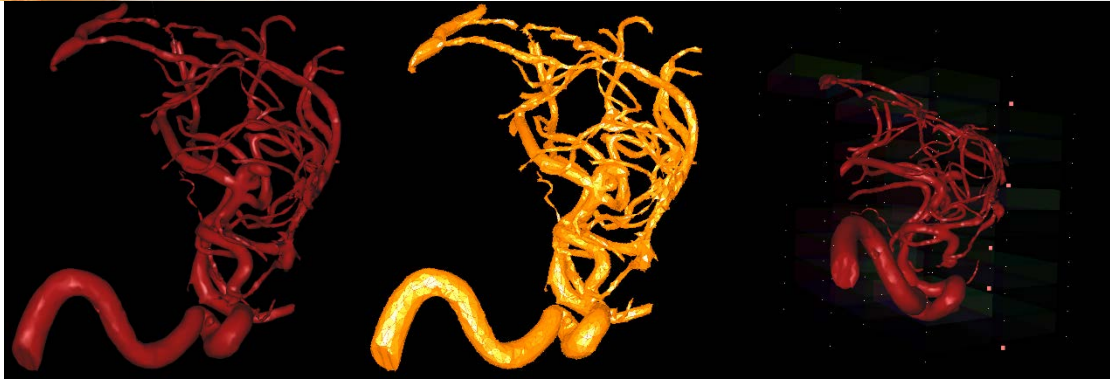


Figura 4. Pruebas de deformación de vascularidades empleando un caso de aneurisma cerebral, reconstruido a partir de imágenes de CT. A la izquierda, modelo visual sin deformar; al centro, modelo de colisiones a menor resolución; a la derecha, modelo deformado tras aplicar fuerzas externas (los puntos indican restricciones de posición para mantener el modelo fijo en ciertas secciones).

La interacción se probó usando un caso de aneurisma cerebral (**Figura 4**), al cual se le adicionaron modelos del cerebro y de cráneo. Se modelaron herramientas simples que simulan el instrumental quirúrgico y se configuraron para funcionar con dos dispositivos hápticos (*Geomagic Omni Phantom*). En el caso de la visualización, se empleó programación con *OpenGL* y *Qt* para la interfaz gráfica. El resultado final se muestra en la **Figura 5**.

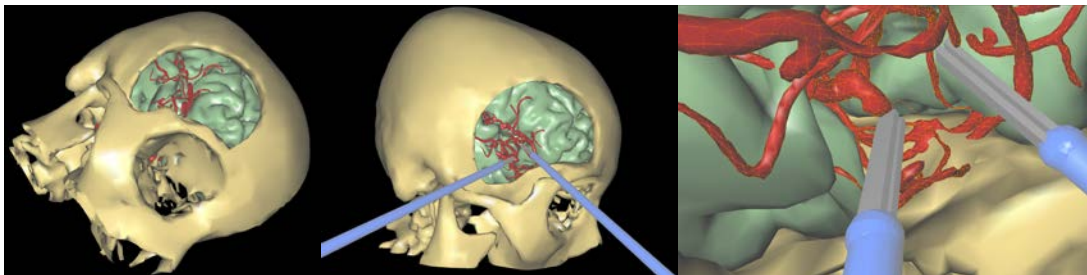


Figura 5. Prototipo experimental del simulador de reparación de aneurismas empleando la biblioteca SOFA.

4. CONCLUSIONES

En esta versión del prototipo de simulación se tomó en cuenta el comportamiento dinámico de las anatomías virtuales, lo cual agregó un mayor grado de realismo, tanto visual como biomecánico con respecto a versiones anteriores. Adicionalmente, se comprobó la utilidad del motor de simulación SOFA como una alternativa eficiente para la implementación de sistemas de simulación en aplicaciones médicas. Se espera, con este nuevo prototipo, llevar a cabo nuevos estudios de validación con residentes en el área de neurocirugía y así evaluar la utilidad de este tipo de sistemas en la enseñanza de la medicina.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. McCloy y R. Stone, "Virtual reality in surgery", *BMJ*, vol. 323, núm. 7318, pp. 912–915, oct. 2001.



VII

CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD
 "GENERACION DE NUEVAS TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO"

16-18
 junio 2016
 Unidad de Seminarios, BUAP



- [2] C. R. Larsen, J. Oestergaard, B. S. Ottesen, y J. L. Soerensen, "The efficacy of virtual reality simulation training in laparoscopy: a systematic review of randomized trials.", *Acta Obstet. Gynecol. Scand.*, vol. 91, núm. 9, pp. 1015–1028, sep. 2012.
- [3] G. Riva, "Applications of virtual environments in medicine.", *Methods Inf. Med.*, vol. 42, núm. 5, pp. 524–534, 2003.
- [4] A. Alaraj, M. G. Lemole, J. H. Finkle, R. Yudkowsky, A. Wallace, C. Luciano, P. P. Banerjee, S. H. Rizzi, y F. T. Charbel, "Virtual reality training in neurosurgery: Review of current status and future applications", *Surg. Neurol. Int.*, vol. 2, p. 52, 2011.
- [5] L. M. Desender, I. Van Herzeele, R. Aggarwal, F. E. G. Vermassen, y N. J. W. Cheshire, "Training with simulation versus operative room attendance.", *J. Cardiovasc. Surg. (Torino)*, vol. 52, núm. 1, pp. 17–37, feb. 2011.
- [6] M. A. Padilla, S. Teodoro, E. Lira, D. Soriano, F. Altamirano, y F. Arambula, "Virtual reality simulator of transurethral resection of the prostate", en *Health Care Exchanges, 2009. PAHCE 2009. Pan American*, 2009, pp. 116–119.
- [7] S. Tanaka, K. Harada, Y. Ida, K. Tomita, I. Kato, F. Arai, T. Ueta, Y. Noda, N. Sugita, y M. Mitsuishi, "Quantitative assessment of manual and robotic microcannulation for eye surgery using new eye model", *Int. J. Med. Robot.*, vol. 11, núm. 2, pp. 210–217, jun. 2015.
- [8] A. Alaraj, C. J. Luciano, D. P. Bailey, A. Elsenousi, B. Z. Roitberg, A. Bernardo, P. P. Banerjee, y F. T. Charbel, "Virtual reality cerebral aneurysm clipping simulation with real-time haptic feedback.", *Neurosurgery*, vol. 11 Suppl 2, pp. 52–58, mar. 2015.
- [9] S. Delorme, D. Laroche, R. DiRaddo, y R. F. Del Maestro, "NeuroTouch: a physics-based virtual simulator for cranial microneurosurgery training.", *Neurosurgery*, vol. 71, núm. 1 Suppl Operative, pp. 32–42, sep. 2012.
- [10] W. Fenz y J. Dirnberger, "Real-time surgery simulation of intracranial aneurysm clipping with patient-specific geometries and haptic feedback", 2015, vol. 9415, p. 94150H–94150H–10.
- [11] J. Allard, S. Cotin, F. Faure, P.-J. Bensoussan, F. Poyer, C. Duriez, H. Delingette, y L. Grisoni, "SOFA--an open source framework for medical simulation.", *Stud. Health Technol. Inform.*, vol. 125, pp. 13–18, 2007.
- [12] D. Soriano, K. Harada, M. A. Padilla, A. Gastélum, H. Nakatomi, F. Arambula, y N. Sugita, "Análisis de destrezas médicas: simulación de reparación de aneurismas con interacción háptica, primeras experiencias.", *XVI Simp. Mex. Cir. Asistida Por Comput.*