

1er Premio Beca: Modelo de simulación de clipado de aneurismas cerebrales de bajo costo, validez aparente y de contenido.

Nadia Morales Acosta, Guevara María, Costa Carla,
Targa García Aylen, Feldman Santiago, Gallardo Federico
Hospital el Cruce

RESUMEN

Objetivo: Presentar un modelo de entrenamiento realista en clipado microquirúrgico de aneurisma cerebral con flujo pulsátil, artificial, accesible y de bajo costo. Evaluar su validez aparente y de contenido.

Introducción: La tendencia actual hacia el tratamiento endovascular de aneurismas cerebrales puede reducir la exposición de neurocirujanos jóvenes al tratamiento quirúrgico de estas lesiones durante su formación, afectando la adquisición de habilidades quirúrgicas en este campo. Presentamos un modelo de simulación fácilmente reproducible para clipado de aneurismas cerebrales verificando su validez como herramienta de entrenamiento.

Material y métodos: Se utilizó cerebro bovino como alternativa al cerebro humano para simular apertura de surcos. Para la confección de aneurismas se utilizaron arteria y vena femoral de muslo de pollo. Como sistema de micro flujo se utilizó una mini bomba sumergible.

Discusión: La simulación con animales vivos se considera entre los modelos más realistas para el entrenamiento en microcirugía, pero las restricciones y su costo limitan su uso, tal como ocurre con los especímenes cadávericos humanos. Con el propósito de resolver estas dificultades, desarrollamos un modelo de bajo costo y lo usamos para simular el clipado de aneurismas cerebrales. Diez neurocirujanos experimentados utilizaron el mismo y luego completaron una encuesta para evaluar su potencial beneficio.

Conclusión: Hemos presentado un nuevo modelo de simulación para el clipado microquirúrgico de aneurismas cerebrales utilizando materiales accesibles y económicos. Creemos que el mismo resulta útil y fácilmente reproducible para la práctica y el aprendizaje de la técnica microquirúrgica para neurocirujanos en formación.

Palabras clave: aneurisma, microcirugía, neurocirugía, cerebro bovino, simulación, entrenamiento.

ABSTRACT

Objective: To show a realistic and accessible training model for cerebral aneurysm clipping with a pulsatile flow. To determine its face and content validity.

Background: The current trend towards endovascular treatment of brain aneurysms may have a negative impact on young neurosurgeons who are less exposed to these lesions, thus affecting the acquisition of surgical skills in the field. We introduce an easily reproducible simulation model for clipping of cerebral aneurysms and we assess its validity as a training tool.

Material and methods: A fresh bovine brain is used to simulate microsurgical fissure dissection. Arterial and aneurysmal components are created with arteries and veins harvested from chicken thigh. For the micro flow system, a submersible mini-pump was employed.

Discussion: Live animal simulations are considered among the most realistic training models but restrictions and the facilities costs limit their use, just as with human cadaveric specimens. With the aim of addressing these issues, we developed a low-cost model with the use of a micro flow pump and used it for simulation of aneurysm clipping. Ten neurosurgeons performed the simulated clipping of the aneurysm and were administered a questionnaire following the procedure.

Conclusion: We present a novel, realistic, inexpensive and easily reproducible simulation model for the clipping of brain aneurysms. This model was partially validated by the opinion of field experts. We believe this model has the potential of becoming a useful training tool for young neurosurgeons.

Keywords: Aneurysm, Microsurgery, Neurosurgery, Bovine Brain, Simulation, Training..

INTRODUCCIÓN

Desde la publicación del estudio ISAT¹ el tratamiento de aneurismas cerebrales mediante el empleo de técnicas endovasculares ha cobrado gran relevancia, quedando reservados para el tratamiento quirúrgico generalmente aquellos aneurismas complejos, no pasibles de tratamiento mediante dichas técnicas.² Debido a la disminución en la casuística de aneurismas tratados por vía microquirúrgica, éstos son resueltos en su mayoría por cirujanos expertos en centros de alto volumen, reduciendo la po-

sibilidad de que neurocirujanos en formación adquieran experiencia en este campo.^{3,4}

Con el fin de sortear este inconveniente, han surgido múltiples modelos de simulación en clipado microquirúrgico de aneurismas cerebrales, siendo aquellos realizados en animales vivos o en preparados cadávericos humanos los reportados como de mayor fidelidad.⁵⁻⁹ Sin embargo, tanto por motivos éticos, legales y económicos, dichos modelos suelen no encontrarse disponibles en cualquier laboratorio de microcirugía.

Es por ello que proponemos un modelo realista, accesible, de bajo costo y reproducible para el entrenamiento en clipado de aneurismas cerebrales.

Adicionalmente, se discuten diferentes modelos de si-

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés

Recibido: Agosto de 2020. Aceptado: Septiembre de 2020.

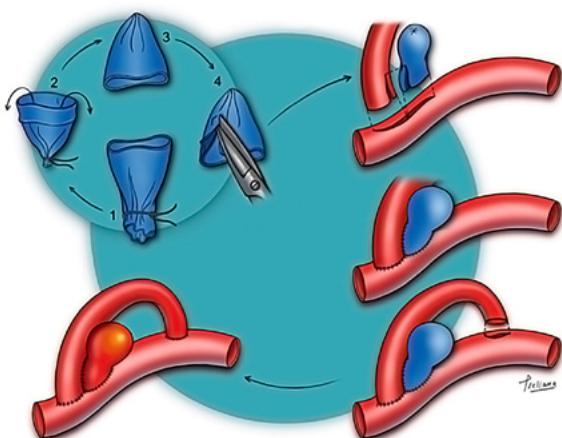


Figura 1: Ilustración artística de los pasos para la producción del injerto arterial. A) Creación de aneurisma venoso con vaso de pollo (1-4). B) Anastomosis del saco aneurismático, la arteria receptora y su colateral (1-2) y anastomosis distal de la rama colateral a la arteria receptora. C) Injerto arterial finalizado.

TABLA 1. COSTO DEL ENSAMBLADO DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Módulo programable	\$1475 (USD 8.68)
Bomba de micro flujo	\$656(USD 3.86)
Transformador eléctrico	\$772 (USD 4.54)
Cerebro bovino	\$170 (USD 1.00)
Muslo de pollo	\$255 (USD 1.50)
Costo total	\$ 3328 (USD 19.58)

\$: pesos argentinos. USD: dólar americano.

mulación previamente desarrollados y se analiza el potencial beneficio del modelo presentado.

OBJETIVO

Presentar un modelo de entrenamiento realista en clipado microquirúrgico de aneurisma cerebral, con flujo pulsátil artificial, accesible y de bajo costo. Evaluar su validez aparente y de contenido.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizó cerebro bovino como alternativa al cerebro humano para simular apertura de surcos. Para la confección de aneurismas se utilizaron arteria y vena femoral de muslo de pollo. Para el sistema de microflujo se utilizó una mini bomba sumergible.

Creación de aneurisma

Se accede al paquete vasculo-nervioso del muslo de pollo identificando la arteria y vena. Previo a su extracción, y con el objetivo de conseguir un vaso sin fuga, es imperativo disecar y ligar todos los vasos colaterales utilizando polipropileno 6-0.

El aneurisma empleado en nuestro trabajo consiste en un fondo de saco de vena. Para su confección es necesario realizar una ligadura en la vena, empleando nylon 5-0, y posterior sección de la misma 0.5 cm distal a la ligadura. Finalmente, el vaso es invaginado, formando de esta manera el domo del aneurisma.

Posteriormente, se realizó una arteriotomía lineal en la arteria receptora. El aneurisma venoso creado y una segunda arteria dadora se prepararon en forma de "boca de pez". La técnica de sutura comienza creando una anastomosis arterial terminolateral parcial con puntos continuos de Poly-p-dioxane 7-0 entre las dos arterias. Se continuó con la anastomosis lateroterminal parcial del aneurisma venoso y la arteria receptora, seguida del cierre de ambas aberturas laterales (entre arteria dadora y aneurisma) con sutura continua. El cabo restante de la arteria dadora se anastomosó a la arteria receptora distalmente al aneurisma, creando de esta manera un "puente" con el aneurisma en su interior. La importancia de esta última anastomosis radica en lograr un aneurisma de bifurcación con solo un cabo de entrada y otro de salida. (Figura 1)

Ensamblaje del modelo.

En el cerebro bovino identificamos el surco frontotemporal, la fisura interhemisférica o cualquier surco accesorio según necesidad/disponibilidad. Con la ayuda de pinzas de relojero y empleando maniobras delicadas se realizan dos aperturas pequeñas en la aracnoides del surco (con 4-5 cm de distancia entre ambas) y se tuneliza el surco previamente seleccionado. A través de dicho surco se introduce la arteria femoral del pollo con el aneurisma. (Figura 2) Luego se colocan en los extremos del vaso cánulas para acceso venoso 16 Gauge, los cuales se aseguran mediante ligaduras para evitar fugas.

Adicionalmente se fijan los extremos del vaso a la aracnoides del cerebro con sutura Seda 6-0. (Figura 3) Se utilizan guías de suero para conectar los catéteres a un sistema de bomba pulsátil.10 (Figura 4). Para crear dicho sistema de bomba pulsátil se utiliza una mini bomba sumergible de 5V a 12V. Se conecta la bomba a un módulo electrónico programable (Mosfet 30A programmable time cycle delay trigger switch drive module) con un rango de voltaje operativo entre 5V a 36V. Este módulo permite el control automático de ciclos de poder activos e inactivos de milisegundos a minutos, y puede ser configurado para encendido y apagado por 0,5 segundos en ciclos ilimitados. De esta forma, la mini bomba genera un micro flujo pulsátil. Un adaptador de energía eléctrica de 220V a 12V se utilizó como fuente de energía para una práctica segura.10 Una solución con tinta roja se usa para simular la sangre. El costo total de ensambla-

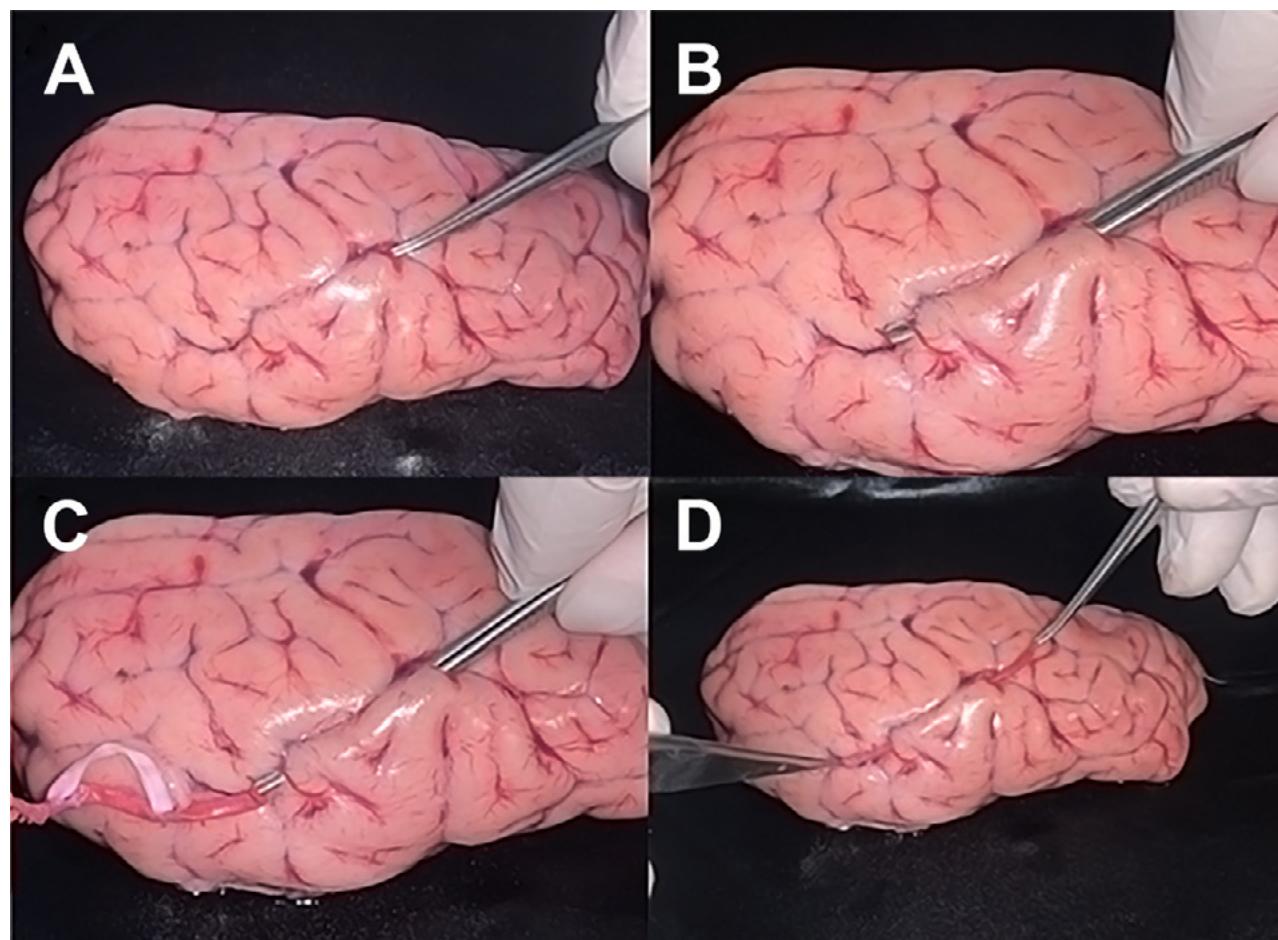


Figura 2: Fotografías de la tunelización del injerto. A) Apertura en la aracnoides del surco a ser disecado. B) La tunelización del surco es realizada con pinzas romas. C) y D) El injerto arterial es gentilmente tunelizado por debajo del surco, con ambos extremos del vaso emergiendo por las aperturas en la aracnoides del espécimen.



Figura 3: Fotografías de los componentes del modelo. A) Injerto arterial finalizado, con la arteria receptora, la rama colateral y el aneurisma venoso. Nótese la anastomosis distal entre la arteria receptora y la arterial colateral, a modo de puente sobre el aneurisma. B) El injerto arterial ha sido tunelizado en la profundidad del surco frontotemporal en un cerebro bovino fresco. C) Disección del surco para exponer el aneurisma. D) Clipado del aneurisma.

do del simulador se detalla en la tabla 1.

Simulación

Diez neurocirujanos con experiencia en clipado de aneurismas cerebrales debieron lograr la apertura del surco, disecar prolíjamente el vaso y, finalmente, realizar el clipado.

Se corroboró el correcto clipado mediante inspec-

ción visual y con el uso de sonda microdoppler (Mizuho America, Beverly, MA). (Video 1)

Después de realizados los ejercicios de simulación, los cirujanos completaron un cuestionario para evaluar el realismo del modelo (validez aparente) y su utilidad como herramienta de formación (validez de contenido), tomando como referencia la escala numérica de Linkert del 1 al 5 (apéndice 1).^{11,12}

TABLA 2. RESULTADOS ENCUESTA

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Este modelo ayuda a desarrollar habilidades microquirúrgicas en la disección aracnoidea y apertura de surco cerebral	-	-	-	6	4
Este modelo ayuda a desarrollar habilidades microquirúrgicas en la disección vascular	-	-	1	4	5
Este modelo ayuda a desarrollar habilidades microquirúrgicas en el clipado de aneurismas.	-	-	1	2	7
El simulador es útil para mejorar la coordinación mano-ojo.	-	-	1	1	8
El simulador es útil o ayuda para la adquisición de precisión en el empleo del instrumental	-	-	-	2	8
Recomendaría el simulador para el entrenamiento de jóvenes neurocirujanos.	-	-	-	1	9
Utilizaría este simulador para mantener habilidades microquirúrgicas.	-	-	-	2	8
Los ejercicios realizados en nuestro simulador se asemejan a situaciones reales del clipado microquirúrgico de aneurismas.	-	-	-	5	5
Las habilidades entrenadas en el simulador son comparables con aquellas necesarias para llevar a cabo una cirugía.	-	-	-	6	4
El flujo pulsátil se asemeja al flujo cerebral durante la cirugía	-	-	2	2	6
El simulador permite la adquisición de habilidades microquirúrgicas de forma rápida y económica.	-	-	2	2	6
Entrenar con nuestro modelo podría ser una herramienta útil para mejorar la seguridad del paciente.	-	-	-	2	8

RESULTADOS

Diez neurocirujanos realizaron la simulación del clipado microquirúrgico y evaluaron el modelo completando el cuestionario. La mayoría de los cirujanos refirieron estar “de acuerdo” o “totalmente de acuerdo” en el realismo del modelo y su utilidad como herramienta de aprendizaje. Las respuestas obtenidas en cada pregunta se exponen en la tabla 2.

DISCUSIÓN

En el campo de la neurocirugía vascular, desde el advenimiento de las técnicas endovasculares y la publicación del estudio ISAT,^{1,2} el volumen de pacientes portadores de aneurismas cerebrales cuya resolución fuera microquirúrgica ha disminuido considerablemente, limitando de esta forma la adquisición de experiencia en este campo a jóvenes neurocirujanos.¹³⁻¹⁵

La enseñanza basada en la simulación posibilita la adquisición y el mantenimiento de destrezas en un ambiente seguro y controlado, permitiendo que el cirujano en formación pueda desarrollar técnicas básicas, previo al contacto con el paciente.^{3,9,16,17}

Los simuladores que emplean animales vivos son considerados como modelos de alta fidelidad para entrenamiento en microcirugía vascular, sin embargo, la tendencia actual es a reducir su empleo por cuestiones éticas y económicas.¹⁷⁻²⁴

En pequeños laboratorios para entrenamiento de habilidades quirúrgicas como los que tienen acceso la mayoría de los neurocirujanos en formación es difícil cumplir con todas las regulaciones necesarias para experimentar e investigar con animales.

Abudd describe un modelo de aneurismas en cadáveres humanos utilizando una bomba para aportarles flujo pulsátil,^{25,26} sin embargo, la infraestructura para realizarlo y el marco regulatorio para el empleo de cadáveres limita su alcance a cursos realizados en laboratorios especializados.

Otros autores describen la utilización de simuladores virtuales y/o sintéticos mediante impresión 3D, siendo la principal crítica en ellos la retroalimentación háptica poco realista que presentan.^{17,27-32}

Como punto intermedio entre ambos tipos de modelos, se ha descripto la realización de aneurismas en tejidos ex vivo, como vasos de pollo y placenta.^{33,34} Dichos simuladores brindan la posibilidad de realizar el entrenamiento en clipado aneurismático de forma económica y sencilla; sin embargo, al tratarse de modelos ex vivo carecen del flujo pulsátil presente en los animales vivos. Con el fin de sortear este obstáculo, en nuestro centro desarrollamos un modelo de bomba de micro flujo y pulso de bajo costo el cual hemos empleado previamente con éxito en placenta.¹⁰ No obstante el realismo obtenido, el modelo en placenta no fue útil para entrenar destrezas y habilidades en disección y apertura de surcos, como ser la necesaria apertura de la fisura silvana en aneurismas de la arteria cerebral media.³⁵⁻³⁸

Aneurisma en cerebro bovino

El modelo presentado en este trabajo utiliza elementos ampliamente disponibles en mercados o carnicerías (muslo de pollo y cerebro bovino), sin marco que regule su empleo con fines de investigación/pedagógicos, así como tampoco límites éticos.

El cerebro bovino proporcionó un excelente modelo de simulación para disección de surcos, y si bien presenta características anatómicas que difieren ligeramente del cerebro humano -como su menor tamaño y aracnoides de menor espesor- las técnicas empleadas en la disección

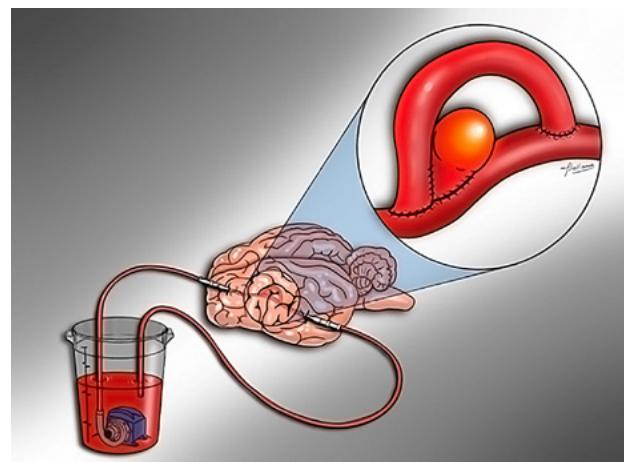


Figura 4: Ilustración artística del modelo de aneurisma en cerebro bovino.

mantienen las mismas premisas empleadas en cirugía.³⁹⁻⁴²

En la confección de aneurismas en vasos de pollo hemos realizado una modificación a la técnica previamente descripta por Olabe y cols,⁴³ sumando un puente arterial para lograr aneurismas de bifurcación en una misma arteria receptora.

Al incorporar el aneurisma creado con vasos de pollo a los surcos del cerebro bovino incrementamos la complejidad y el realismo del modelo.

Por último, el empleo de la bomba adicionó las características hápticas de un vaso con flujo y pulso, permitiendo entrenar técnicas de hemostasia y constatar, mediante el empleo de sonda Doppler, la correcta oclusión del aneurisma, así como la permeabilidad del vaso de origen.

Validez aparente y de contenido

Se les solicitó a neurocirujanos expertos en el campo vascular que califiquen el modelo de aneurisma según su capacidad para desarrollar habilidades microquirúrgicas generales y para enseñar tareas específicas como el clipado aneurismático. Además, se les pidió que comentaran sobre la fidelidad del modelo, su valor para capacitar a los residentes en preparación para la cirugía real y la utilidad como método de capacitación general.

La encuesta de 12 preguntas obtuvo un elevado puntaje general. El simulador obtuvo un elevado puntaje en adquisición y desarrollo de habilidades microquirúrgicas para la disección aracnoidea, apertura de surcos, disección vascular y clipado. La mayoría concluyó que el simulador permitiría mejorar la coordinación mano-ojo así como el empleo de instrumental microquirúrgico.

El total de los neurocirujanos recomendarían el empleo del simulador para el entrenamiento de neurocirujanos jóvenes, así como para mantener sus habilidades microquirúrgicas.

El 100% de los neurocirujanos coincidieron en que

los ejercicios realizados en el simulador, así como las habilidades entrenadas en él, son comparables con lo requerido para poder llevar a cabo el clipado microquirúrgico de aneurismas. El 90 por ciento de los encuestados consideró que el flujo pulsátil remeda a lo hallado de forma intraoperatoria y considera que el modelo permitiría la adquisición de habilidades microquirúrgicas de forma rápida y económica. Todos los encuestados creen que este simulador podría mejorar la seguridad del paciente. A pesar de los resultados mencionados, la efectividad clínica de este tipo de modelo aún debe ser establecida.

CONCLUSIÓN

Hemos presentado un nuevo modelo de simulación para el clipado microquirúrgico de aneurismas cerebrales utilizando materiales accesibles y económicos, el cual alcanzó la validez aparente y de contenido acorde a la opinión de expertos en el campo.

Creemos que el simulador desarrollado en el presente artículo es realista y fácilmente reproducible en cualquier centro de formación y que permitirá a residentes de neurocirugía a desarrollar las técnicas quirúrgicas básicas en apertura de surcos y clipado de aneurismas en un ambiente controlado.

APÉNDICE 1

Simulador aneurisma en cerebro bovino

Puntaje	1	2	3	4	5
Grado de acuerdo o desacuerdo	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo

BIBLIOGRAFÍA

1. Molyneux A, Kerr R. International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: A randomized trial. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2002;11(6):304-314. doi:10.1053/jscd.2002.130390
2. Luther E, McCarthy DJ, Brunet M-C, et al. Treatment and diagnosis of cerebral aneurysms in the post-International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) era: trends and outcomes. *J Neurointerv Surg.* 2020;12(7):682-687. doi:10.1136/neurintsurg-2019-015418
3. Chowdhry SA, Spetzler RF. Genealogy of training in vascular neurosurgery. *Neurosurgery.* 2014;74(2 SUPPL.):198-203. doi:10.1227/NEU.0000000000000225
4. Volovici V, Verploegh ISC, Vos JC, et al. Can Young Vascular Neurosurgeons Become Proficient in Microsurgical Clip Reconstruction in the Endovascular Era? A Rotterdam Cohort Spanning 2 Decades with Propensity Score Matching for Complexity. *World Neurosurg.* 2020;144:e780-e788. doi:10.1016/j.wneu.2020.09.071
5. Mery F, Aranda F, Méndez-Orellana C, et al. Reusable Low-Cost 3D Training Model for Aneurysm Clipping. *World Neurosurg.* 2021;147:29-36. doi:10.1016/j.wneu.2020.11.136
6. Haridas A, Miller M. Middle Cerebral Artery Aneurysm Clipping With Immersive 360° Virtual Reality Model: 2-Dimensional Operative Video. *Oper Neurosurg (Hagerstown, Md).* 2021;20(4):E314. doi:10.1093/ons/opaa416
7. Feijoo PG, Benito F, Kalra N, et al. Seven Microaneurysms: Description of an Experimental Rodent Model for Neurovascular Training. *Turk Neurosurg.* 2021;31(2):217-222. doi:10.5137/1019-5149.JTN.30673-20.1
8. Taaffe JP, Kabbani LS, Goltz CJ, et al. Feasibility and Evaluation of Surgical Simulation with Developed Crisis Scenarios: A Comparison of Performance by Vascular Surgery Training Paradigms. *J Surg Educ.* June 2021. doi:10.1016/j.jsurg.2021.05.007
9. Rehder R, Abd-El-Barr M, Hooten K, Weinstock P, Madsen JR, Cohen AR. The role of simulation in neurosurgery. *Child's Nerv Syst.* 2016;32(1):43-54. doi:10.1007/s00381-015-2923-z
10. Gallardo FC, Bustamante JL, Martin C, et al. Novel Simulation Model with Pulsatile Flow System for Microvascular Training, Research, and Improving Patient Surgical Outcomes. *World Neurosurg.* 2020;143:11-16. doi:10.1016/j.wneu.2020.07.116
11. Chan W, Matteucci P, Southern SJ. Validation of microsurgical models in microsurgery training and competence: a review.

Califique con una puntuación de 1 a 5, tomando como referencia la siguiente escala:

- Este modelo ayuda a desarrollar habilidades microquirúrgicas en la disección aracnoidea y apertura de surco cerebral.
- Este modelo ayuda a desarrollar habilidades microquirúrgicas en la disección vascular.
- Este modelo ayuda a desarrollar habilidades microquirúrgicas en el clipado de aneurismas.
- Los ejercicios realizados en nuestro simulador se asemejan a situaciones reales del clipado microquirúrgico de aneurismas.
- Las habilidades entrenadas en el simulador son comparables con aquellas necesarias para llevar a cabo una cirugía.
- El flujo pulsátil se asemeja al flujo cerebral durante la cirugía.
- El simulador es útil para mejorar la coordinación mano-ojo.
- El simulador es útil o ayuda para la adquisición de precisión en el empleo del instrumental.
- Recomendaría el simulador para el entrenamiento de jóvenes neurocirujanos.
- Utilizaría este simulador para mantener habilidades microquirúrgicas.
- El simulador permite la adquisición de habilidades microquirúrgicas de forma rápida y económica.
- Entrenar con nuestro modelo podría ser una herramienta útil para mejorar la seguridad del paciente.

- Microsurgery. 2007;27:494-499. doi:10.1002/micr
12. Steehler MK, Pfisterer MJ, Na H, Hesham HN, Pehlivanova M, Malekzadeh S. Face, content, and construct validity of a low-cost sinus surgery task trainer. *Otolaryngol - Head Neck Surg.* 2012;146(3):504-509. doi:10.1177/0194599811430187
13. Burkhardt JK, Lawton MT. Training Young Neurosurgeons in Open Microsurgical Aneurysm Treatment. *World Neurosurg.* 2017;103:919-920. doi:10.1016/j.wneu.2017.04.089
14. Almefty RO, Spetzler RF. Training Aneurysm Surgeons in the Modern Era. *World Neurosurg.* 2014;82(3-4):e419-e420. doi:10.1016/j.wneu.2013.03.060
15. Woodrow SI, Bernstein M, Wallace MC. Safety of intracranial aneurysm surgery performed in a postgraduate training program: Implications for training. *J Neurosurg.* 2005;102(4):616-621. doi:10.3171/jns.2005.102.4.0616
16. Higurashi M, Qian Y, Zecca M, Park YK, Umez M, Morgan MK. Surgical training technology for cerebrovascular anastomosis. *J Clin Neurosci.* 2014;21(4):554-558. doi:10.1016/j.jocn.2013.07.029
17. Spetzger U, Von Schilling A, Brombach T, Winkler G. Training models for vascular microneurosurgery. *Acta Neurochir Suppl.* 2011;112(112):115-119. doi:10.1007/978-3-7091-0661-7_21
18. Gasteratos K, Paladino JR, Akelina Y, Mayer HF. Superiority of living animal models in microsurgical training: beyond technical expertise. *Eur J Plast Surg.* 2021;44(2):167-176. doi:10.1007/s00238-021-01798-1
19. Byvaltsev VA, Akshulakov SK, Polkin RA, et al. Microvascular Anastomosis Training in Neurosurgery: A Review. *Minim Invasive Surg.* 2018;2018. doi:10.1155/2018/6130286
20. Thompson JW, Elwardany O, McCarthy DJ, et al. In vivo cerebral aneurysm models. *Neurosurg Focus.* 2019;47(1):1-8. doi:10.3171/2019.4.FOCUS19219
21. Bouzeghrane F, Naggara O, Kallmes DF, Berenstein A, Raymond J. In vivo experimental intracranial aneurysm models: A systematic review. *Am J Neuroradiol.* 2010;31(3):418-423. doi:10.3174/ajnr.A1853
22. Ysuda R, Strother CM, Aagaard-Kienitz B, Pulfer K, Consigny D. A large and giant bifurcation aneurysm model in canines: Proof of feasibility. *Am J Neuroradiol.* 2012;33(3):507-512. doi:10.3174/ajnr.A2789
23. Olabe J, Olabe J, Roda J. Microsurgical cerebral aneurysm training porcine model. *Neurol India.* 2011;59(1):78-81. doi:10.4103/0028-3886.76872
24. Wang Y, Emeto TI, Lee J, et al. Mouse models of intracranial aneurysm. *Brain Pathol.* 2015;25(3):237-247. doi:10.1111/bpa.12175
25. Aboud E, Aboud G, Al-Mefty O, et al. "Live cadavers" for training in the management of intraoperative aneurysmal rupture. *J Neurosurg.* 2015;123(5):1339-1346. doi:10.3171/2014.12.JNS141551
26. Pacca P, Jhawar SS, Secler D V, et al. "Live cadaver" Model for internal carotid artery injury simulation in endoscopic endonasal skull base surgery. *Oper Neurosurg.* 2017;13(6):732-738. doi:10.1093/ons/opx035
27. Lan Q, Chen A, Zhang T, et al. Development of Three-Dimensional Printed Craniocerebral Models for Simulated Neurosurgery. *World Neurosurg.* 2016;91:434-442. doi:10.1016/j.wneu.2016.04.069
28. Mashiko T, Kaneko N, Konno T, Otani K, Nagayama R, Watanabe E. Training in Cerebral Aneurysm Clipping Using Self-Made 3-Dimensional Models. *J Surg Educ.* 2017;74(4):681-689. doi:10.1016/j.jsurg.2016.12.010
29. Hicdonmez T, Hamamcioglu MK, Parsak T, Cukur Z, Cobanoglu S. A laboratory training model for interhemispheric-transcallosal approach to the lateral ventricle. *Neurosurg Rev.* 2006;29(2):159-162. doi:10.1007/s10143-005-0014-4
30. Harada N, Kondo K, Miyazaki C, et al. Modified three-dimensional brain model for study of the trans-sylvian approach. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2011;51(8):567-571. doi:10.2176/nmc.51.567
31. Ishikawa T, Yasui N, Ono H. Novel brain model for training of deep microvascular anastomosis. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2010;50(8):627-629. doi:10.2176/nmc.50.627
32. Wang L, Ye X, Hao Q, et al. Three-dimensional intracranial middle cerebral artery aneurysm models for aneurysm surgery and training. *J Clin Neurosci.* 2018;50(September 2013):77-82. doi:10.1016/j.jocn.2018.01.074
33. Olijnyk LD, Patel K, Brandao MR, et al. The Role of Low-Cost Microsurgical Training Models and Experience with Exercises Based on a Bovine Heart. *World Neurosurg.* 2019;130:59-64. doi:10.1016/j.wneu.2019.06.089
34. Oliveira MM, Ferrarez CE, Lovato R, et al. Quality Assurance During Brain Aneurysm Microsurgery—Operative Error Teaching. *World Neurosurg.* 2019;130:e112-e116. doi:10.1016/j.wneu.2019.05.262
35. Balak N. The Sylvian fissure, cistern and arachnoid membrane. *Br J Neurosurg.* 2014;28(1):98-106. doi:10.3109/02688697.2013.815324
36. Ikawa F. Surgery of Middle Cerebral Artery (MCA) Aneurysm. In: *Neurovascular Surgery.* Springer Singapore; 2019:125-134. doi:10.1007/978-981-10-8950-3_15
37. Neyazi B, Siblini A, Frantsev R, et al. The role of the Sylvian fissure configuration and the vascular anatomy on different bleeding patterns in ruptured middle cerebral artery aneurysms. *Clin Neurol Neurosurg.* 2020;189:105572. doi:10.1016/j.clineuro.2019.105572
38. Elsharkawy A, Niemelä M, Lehečka M, et al. Focused opening of the sylvian fissure for microsurgical management of MCA aneurysms. *Acta Neurochir (Wien).* 2014;156(1):17-25. doi:10.1007/s00701-013-1894-7
39. Hicdonmez T, Hamamcioglu MK, Tiryaki M, Cukur Z, Cobanoglu S. Microneurosurgical training model in fresh cadaveric cow brain: a laboratory study simulating the approach to the circle of Willis. *Surg Neurol.* 2006;66(1):100-104. doi:10.1016/j.surneu.2005.09.027
40. Gökyar A, Cokluk C. Using of fresh cadaveric cow brain in the microsurgical training model for sulcal-cisternal and fissural dissection. *J Neurosci Rural Pract.* 2018;9(1):26-29. doi:10.4103/jnrp.jnrp_390_17
41. Altun A, Çokluk C. The Microneurosurgical Training Model for Intrinsic and Extrinsic Brain Tumor Surgery Using Polyurethane Foam and Fresh Cadaveric Cow Brain: An Experimental Study. *World Neurosurg X.* 2019;4:100039. doi:10.1016/j.wnsx.2019.100039
42. Turan Suslu H, Ceylan D, Tatar N, et al. Laboratory training in the retrosigmoid approach using cadaveric silicone injected cow brain. *Br J Neurosurg.* 2013;27(6):812-814. doi:10.3109/02688697.2013.772095
43. Olabe J, Olabe J. Microsurgical training on an in vitro chicken wing infusion model. *Surg Neurol.* 2009;72(6):695-699. doi:10.1016/j.surneu.2008.12.008