

## La simulación en la enseñanza de la oftalmología

Juan Carlos Serna-Ojeda, Enrique O. Graue-Hernández, Pablo José Guzmán-Salas  
y José Luis Rodríguez-Loaiza\*

Instituto de Oftalmología Conde de Valenciana, Ciudad de México, México

### Resumen

**Trasfondo.** La simulación se ha convertido en una herramienta indispensable en todas las ramas de la medicina para mejorar las respuestas de los médicos a diferentes situaciones, optimizando así su desempeño. La simulación en oftalmología es más novedosa, debido a la complejidad del desarrollo tecnológico que implica tener modelos de realidad virtual, sobre todo en el contexto de la simulación quirúrgica. **Discusión.** El desarrollo de métodos de simulación en oftalmología que facilitan el aprendizaje y la adquisición de destrezas básicas con modelos sencillos, hasta los modelos de realidad virtual, permite el progreso de una forma integral, más rápida y más eficiente de las destrezas necesarias para el desarrollo de los procedimientos básicos y avanzados en la oftalmología, creando así un mejor ambiente de aprendizaje, mejorando costos y creando un panorama prometedor que permita incorporar este tipo de enseñanza o aprendizaje a todos los programas académicos en todo el mundo. **Conclusiones.** El uso de la simulación en oftalmología facilita la formación de personal médico altamente capacitado y se vislumbra como una herramienta útil en la enseñanza y el aprendizaje que repercute positivamente en la calidad de la atención que brindamos a los pacientes.

**PALABRAS CLAVE:** Simulación médica. Oftalmología. Enseñanza en medicina.

### Abstract

**Background:** Simulation in medicine is an indispensable tool to improve doctors' responses to different situations, enhancing their performance. However, simulation in ophthalmology is a very recent trend, mainly because of the high complexity of developing newer teaching tools, with the need for highly realistic models, mostly in surgical ophthalmic simulation. **Discussion:** The whole development of simulation in ophthalmology, from the very first attempts that used basic models, to the newer virtual reality models, allows for a comprehensive, faster, and more efficient development of skills necessary in basic and advance procedures in ophthalmology, creating a better learning environment, improving costs, and developing a very promising panorama, in which simulation can be incorporated in teaching programs all around the globe. **Conclusions:** Simulation in ophthalmology allows for better results in the formation of ophthalmologists, and it is becoming a new tool to achieve better results in medical and surgical procedures, thus improving outcomes and quality of care. (Gac Med Mex. 2017;153:111-5)

**Corresponding author:** José Luis Rodríguez-Loaiza, jose.rodriguez@institutodeoftalmologia.org

**KEY WORDS:** Medical simulation. Ophthalmology. Teaching in medicine.

#### Correspondencia:

\*José Luis Rodríguez-Loaiza  
Instituto de Oftalmología Conde de Valenciana  
Chimalpopoca, 14  
Col. Obrera  
C.P. 06800, Ciudad de México, México  
E-mail: jose.rodriguez@institutodeoftalmologia.org

Fecha de recepción: 06-07-2015

Fecha de aceptación: 26-09-2015

La complejidad de la cirugía oftalmológica hace que sea difícil de enseñar. La simulación es el entrenamiento que brinda la oportunidad de una práctica constante de destrezas, mientras se familiariza con instrumentos y equipos. De forma simultánea se adquiere experiencia en el reconocimiento de problemas y en la toma de decisiones, así como en el perfeccionamiento de técnicas y procedimientos<sup>1</sup>. La diferencia del entrenamiento médico respecto al entrenamiento en otras áreas radica en que, normalmente, el médico debe aprender bajo situaciones de estrés, en vez de en situaciones controladas de simulación. En general, la simulación en oftalmología se ha enfocado al entrenamiento en la técnica quirúrgica, y poco énfasis se ha hecho en las destrezas del examen clínico, la comunicación entre médico y paciente, y el profesionalismo.

A pesar de que la simulación aplicada a la medicina se ha ido desarrollando y mejorando a lo largo de décadas<sup>2</sup>, la oftalmología es un área en la que apenas recientemente se inició la incorporación de simuladores para entrenamiento y capacitación de distintos procedimientos y cirugías. La mayor parte de los estudios disponibles en la literatura son relativamente recientes, y la información que se tiene en idioma español es escasa.

El objetivo de este escrito es abordar el tema de la simulación en oftalmología revisando los estudios que se encuentran disponibles, analizando sus beneficios y razones, así como su incorporación en el entrenamiento de residentes de oftalmología.

Tradicionalmente, como en muchas otras ramas de la medicina, la simulación en oftalmología se centra en escenarios interactivos o mediante el uso de laboratorios con especímenes animales vivos u ojos de cadáveres. En esencia, estos centros de aprendizaje o *wetlabs* se encuentran en cuartos separados de los quirófanos y requieren personal altamente capacitado en los procedimientos para su enseñanza. El costo de estos laboratorios de enseñanza quirúrgica es alto, pues deben contener al menos un microscopio quirúrgico de alta definición, una mesa de trabajo e instrumental destinado únicamente a la enseñanza. Sin embargo, su gran limitante no está en el costo de la infraestructura, sino en la necesidad de tener un supervisor (cirujano experto) altamente capacitado en los procedimientos. Por ello es que la mayoría de los programas de entrenamiento en México, América Latina y el mundo hayan limitado su adopción.

Para que un simulador de realidad virtual pueda cumplir con los requisitos necesarios para su adopción en oftalmología es necesario que tenga muy alta definición<sup>3</sup>. Los avances en la ciencia de la computación

permiten que los simuladores comercialmente disponibles recreen de manera precisa las características de los tejidos y simulen casi la totalidad de los pasos del procedimiento quirúrgico.

Se ha reportado el uso de modelos y simuladores para distintas áreas de la oftalmología. La exploración clínica del fondo de ojo mediante oftalmoscopia directa e indirecta es una de las destrezas que pueden ser aprendidas y practicadas mediante estos modelos, los cuales han sido utilizados por estudiantes de medicina, médicos generales o especialistas en otras áreas, como la medicina de emergencias, y residentes de oftalmología<sup>4,5</sup>; incluso se ha utilizado en el entrenamiento de residentes de medicina familiar en la detección de la retinopatía diabética<sup>6</sup>. Estos modelos han presentado cambios a lo largo del tiempo, pues los primeros que se utilizaron eran de plástico y en ellos se insertaba una transparencia fotográfica o filmina, detrás de cada uno de los ojos del modelo, y se realizaba la oftalmoscopia directa, mientras que los modelos actuales tienen pantallas de alta resolución y visores integrados, donde se emite una imagen virtual (Fig. 1). También se han creado modelos para la práctica de procedimientos menores, como son la realización de una capsulotomía con láser Nd-YAG para la opacidad de la cápsula posterior<sup>7</sup>, o para la aplicación de láser para lesiones predisponentes en la retina<sup>8</sup>.

La simulación de alta fidelidad permite la posibilidad de recrear los procedimientos quirúrgicos más frecuentes e importantes para la práctica de la oftalmología. La cirugía de catarata, por la complejidad de los instrumentos y la necesidad de aprender a utilizar las cuatro extremidades de manera simultánea bajo un ambiente de magnificación, hace que tenga una curva de aprendizaje lenta y muy variable.

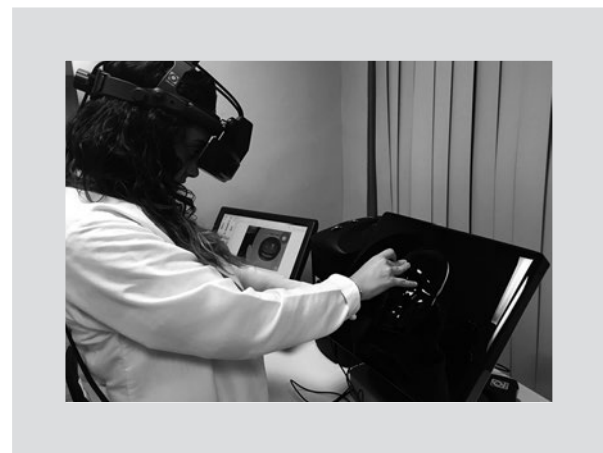


Figura 1. Simulador de oftalmoscopia indirecta para entrenamiento de exploración de fondo de ojo.

Para su uso en oftalmología, los simuladores primero deben ser validados, documentando, por ejemplo, la habilidad del simulador para distinguir entre el rendimiento de un cirujano experto y el rendimiento de un cirujano novato en entrenamiento<sup>9,10</sup>. También se ha demostrado que los oftalmólogos con mayor experiencia en técnicas de microcirugía muestran mayor facilidad inicial en todas las pruebas de destrezas<sup>11</sup>, y que obtienen puntajes más altos en los distintos módulos de entrenamiento, como en la realización de la incisión sobre la cápsula anterior del cristalino (capsulorrexis)<sup>12</sup>. Esta plataforma permite que los cirujanos novatos tengan un entrenamiento constante para la adquisición de destrezas específicas. Son varios los autores, como Mahr y Hodge<sup>13</sup>, y Selvander y Asman<sup>14</sup>, que han evaluado y validado los módulos de entrenamiento en distintas fases de la cirugía de catarata (capsulorrexis y fragmentación del cristalino), así como las destrezas fundamentales de microcirugía ocular (navegación y utilización de instrumental en la cámara anterior y el segmento posterior del ojo).

Estos simuladores también permiten evaluar el desempeño del cirujano ante situaciones especiales, como pueden ser la distracción<sup>15</sup>, el agotamiento<sup>16</sup> o el uso de la mano no dominante<sup>17</sup>. Evaluar el efecto de estos componentes de situaciones reales en escenarios clínicos resulta en un dilema ético y en un riesgo para el paciente; por ello, la simulación y los resultados que estos estudios arrojan permiten modificar el ambiente en que el cirujano y el paciente se encuentran, con el objetivo de mejorar el desempeño del cirujano y la calidad de la atención que el paciente recibe.

Actualmente existen tres simuladores para cirugía de catarata que han sido evaluados: Eyesi (VRmagic), PhacoVision (Melerit Medical) y MicrovisTouch (ImmersiveTouch); sin embargo, la mayoría de los estudios se enfocan en el primero de ellos. Eyesi, originalmente desarrollado para cirugía de retina y vítreo, es el dispositivo que más se ha estudiado. Las ventajas de un simulador de realidad virtual sobre un *wetlab* son claras: es más limpio y no requiere un mantenimiento mayor, y además permite que los ejercicios a realizar se preparen de forma rápida y no requieren infraestructura para disponer de tejidos animales o humanos. Los alumnos se colocan de la misma forma que lo harían en un quirófano, con un microscopio similar e instrumentos y pedales similares a los que se utilizan en la práctica (Fig. 2). Para un cirujano que se inicia, colocarse de forma adecuada, manejar los instrumentos especializados y maniobrar en un campo quirúrgico reducido puede ser un gran reto.

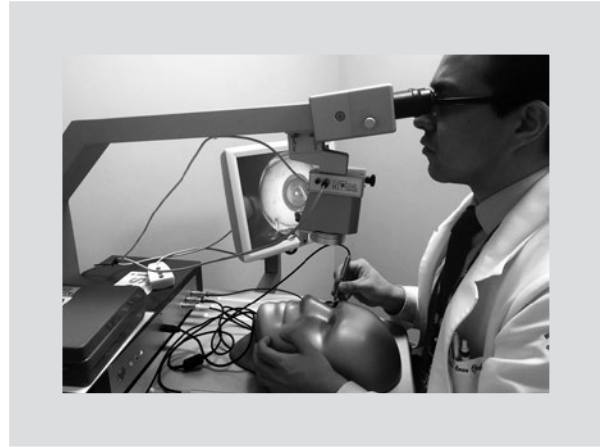
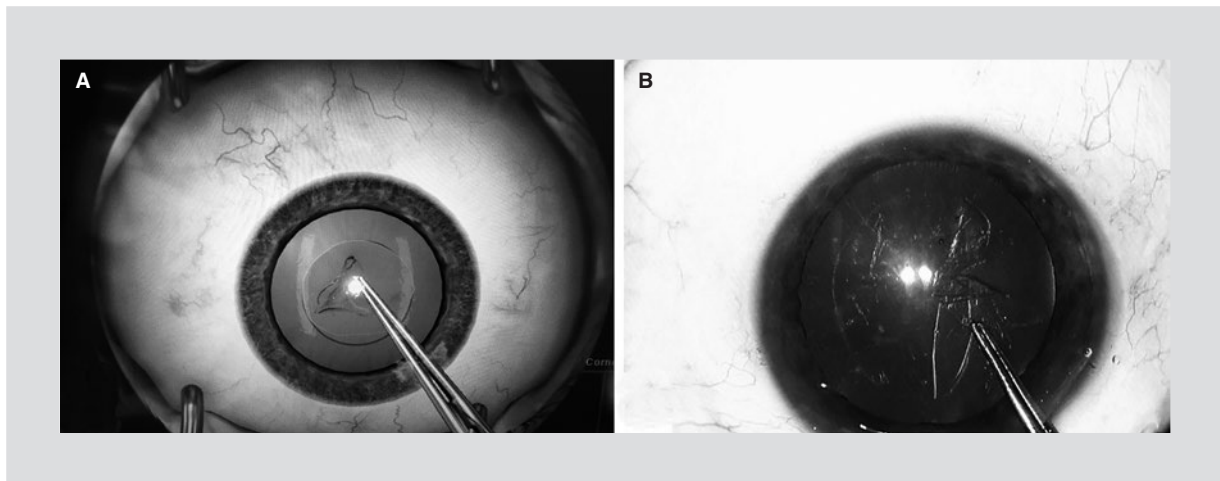


Figura 2. Simulador de cirugía de catarata.

Los modelos incluyen un modelo ocular visible por los oculares del microscopio, con córnea, iris, cristalino y su cápsula, y en el caso específico del Eyesi, retina. La imagen que se produce es tridimensional y simula las profundidades de las estructuras dentro del ojo. El *software* permite al equipo evaluar la posición relativa de los instrumentos y proporciona una retroalimentación inmediata al usuario para advertir un daño potencial a las estructuras, como la córnea y la cápsula del cristalino. Además, el equipo de simulación otorga un valor numérico a las tareas específicas (capsulorrexis y fragmentación) que sirven para evaluar el progreso y el desempeño del estudiante. Un estudiante puede repetir una capsulorrexis, por ejemplo, en un *wetlab*, un número de veces limitado por el número de ojos disponibles (usualmente no más de tres), mientras que en una sesión de simulación se puede hacer la repetición las veces que sean necesarias, las cuales además son altamente comparables con el procedimiento real (Fig. 3).

### La simulación médica en el entrenamiento en oftalmología

El aprendizaje de las destrezas de microcirugía ocular tiene un apartado especial en la medicina. Durante la formación de médico general, el estudiante está expuesto y recibe en mayor o menor medida entrenamiento en los principios de cirugía general y suturas. La microcirugía oftálmica requiere el uso simultáneo de las cuatro extremidades y movimientos en un campo quirúrgico magnificado. La curva de aprendizaje, usualmente lenta, es una transición obligada en la adquisición de conocimientos y habilidades. Por ello se espera, no solo en oftalmología, que en escenarios reales el tiempo



**Figura 3. A:** Procedimiento de capsulorrexis en un simulador virtual. **B:** Procedimiento de capsulorrexis en cirugía real.

quirúrgico y las complicaciones sean mayores en los primeros casos, y por eso requieren una supervisión continua<sup>18,19</sup>. El uso de simuladores en oftalmología tiene grandes ventajas para los médicos y para los pacientes, disminuyendo la falta de entrenamiento o la poca experiencia antes de la exposición a las situaciones reales y, por ende, mejorando los desenlaces<sup>20</sup>.

Mediante un estudio metaanálisis se comprobó que el entrenamiento de profesionales en la salud mejorado con tecnología de simulación, comparada con aquel en el que no se realiza intervención alguna, genera importantes efectos en los resultados respecto a conocimientos, destrezas y comportamientos, así como en los resultados relacionados con el paciente<sup>21</sup>. Por esta razón, como en el resto de las ramas de la medicina, la simulación quirúrgica en oftalmología se ha ido introduciendo en programas de residencia<sup>22</sup>, en un esfuerzo para aumentar el entrenamiento sin exponer la salud de los pacientes. Es por ello que al mismo tiempo surge la necesidad de evaluar de forma sistemática y objetiva las destrezas adquiridas, y hoy existen múltiples herramientas de evaluación<sup>23</sup>.

Con el objetivo de generar evidencia contundente y demostrar que la simulación debe ser parte integral del entrenamiento en oftalmología se creó un programa de colaboración global, el Foro Internacional de Simulación Oftálmica (IFOS, por sus siglas en inglés), que ha propuesto un programa estructurado, secuencial y supervisado, y que postula que puede ofrecer una transferencia de habilidades significativa, sobre todo en las etapas más tempranas del entrenamiento quirúrgico en oftalmología<sup>24</sup>.

Sin embargo, debido a la gran diversidad que existe en los programas de entrenamiento, aún no está del

todo bien definido en qué momento del entrenamiento de los programas de oftalmología se debe recurrir a la simulación, y especialmente a la relacionada con la realidad virtual. De hecho, también debieran extenderse los estudios y las ventajas de la simulación con realidad virtual sobre los métodos clásicos de entrenamiento. Un estudio sugiere incluso que la enseñanza de un grupo de residentes en el laboratorio con especímenes animales no mostró diferencia en ninguna de las variables evaluadas para la realización de capsulorrexis en cirugía de catarata, comparándolo con un grupo entrenado en simulador, aunque concluye afirmando que lo ideal es la combinación de ambos entrenamientos en un programa académico de oftalmología<sup>25</sup>.

Por sus buenos resultados visuales, rehabilitación inmediata y pocas complicaciones, la cirugía de catarata por facoemulsificación es la técnica de elección. El éxito de ella depende en mucho del tiempo, de la magnitud de la energía ultrasónica y del intercambio de fluidos, que están directamente relacionados con la duración de la cirugía. Varios autores han demostrado que los residentes que han tenido un entrenamiento usando simulador de realidad virtual tuvieron tiempos quirúrgicos más cortos, menor energía utilizada, menores complicaciones intraoperatorias y, por lo tanto, una curva de aprendizaje menos pronunciada<sup>26</sup>, lo que sugiere que la incorporación de un programa formal de entrenamiento en simulación puede reducir el riesgo innecesario de complicaciones en pacientes reales<sup>27</sup>.

Las ventajas de incluir el entrenamiento en simulación en un programa de residencia incluyen un aprendizaje acelerado, beneficios para los programas de entrenamiento y capacitadores, y lo más importante, mayor seguridad y mejores resultados para los pacien-



tes. La retroalimentación es una de las características más importantes de la educación médica basada en simulación, ya que además de la capacidad que tienen los simuladores de informar sobre el desempeño inmediato, el apoyo de los educadores permite adaptar los objetivos de aprendizaje deseados<sup>28</sup>. Los simuladores proveen evidencia objetiva de rendimiento, incorporando funciones de seguimiento y mejorando la evaluación del desempeño, además de poder medir la reproducibilidad y la repetitividad<sup>29</sup>.

De forma agregada, existe un amplio rango en la reducción de costos relacionados con el tiempo de uso de quirófano entre los programas de residencia, suponiendo un mayor beneficio para aquellos programas grandes con mayor número de residentes<sup>30</sup>.

La cirugía requiere la coordinación de destrezas físicas y cognitivas para llevar a cabo exitosamente procedimientos complejos. A pesar de la lectura del procedimiento, asistir en cirugía y observar videos de instrucción, por lo general no han formado un mapa mental completo de cada procedimiento que incluya todos los componentes de la cirugía y los pequeños pasos y detalles que se requieren. Su entendimiento es usualmente frágil, y el proceso de toma de decisiones y el ánimo cambian cuando un paso no es llevado a cabo tal como se ha imaginado. La simulación basada en realidad virtual permite eliminar los costos del fracaso y las complicaciones, al mismo tiempo que brinda la oportunidad de practicar de forma tal que el residente desarrolle destrezas y conocimientos más sofisticados y flexibles. La simulación puede ser utilizada para aislar el proceso cognitivo de las destrezas quirúrgicas del proceso físico, y por lo tanto reducir la carga emocional y cognitiva. Los pacientes en simulación pueden diseñarse para que el estudiante se enfoque en las áreas del procedimiento en las que comúnmente se cometen más errores, sin necesidad de cometerlos, y retroalimentar con comentarios de expertos la mejor forma de solucionarlos.

## Conclusión

La simulación en oftalmología es un proceso novedoso, que ha demostrado ser efectivo y que promete ser parte del futuro de los programas de formación de oftalmólogos en todo el mundo. Siempre debe ir de la mano con la atención personalizada al paciente, pues es insustituible. Es una herramienta costo-efectiva en la formación de médicos especializados, que busca, como todo en la formación de un médico, el mayor beneficio posible para el paciente.

## Bibliografía

- Serna-Ojeda JC, Borunda-Nava D, Domínguez-Cherit G. La simulación en medicina. La situación en México. *Cir Cir*. 2012;80:301-5.
- Rosen KR. The history of medical simulation. *J Crit Care*. 2008;23:157-66.
- Gillan SN, Saleh GM. Ophthalmic surgical simulation: a new era. *JAMA Ophthalmol*. 2013;131:1623-4.
- Ricci LH, Ferraz CA. Simulation models applied to practical learning and skill enhancement in direct and indirect ophthalmoscopy: a review. *Arq Bras Oftalmol*. 2014;77:334-8.
- McCarthy DM, Leonard HR, Vozenilek JA. A new tool for testing and training ophthalmoscopic skills. *J Grad Med Educ*. 2012;4:92-6.
- Bukhari AA. The clinical utility of eye exam simulator in enhancing the competency of family physician residents in screening for diabetic retinopathy. *Saudi Med J*. 2014;35:1361-6.
- Moisseiev E, Michaeli A. Simulation of neodymium:YAG posterior capsulotomy for ophthalmologists in training. *J Cataract Refract Surg*. 2014;40:175-8.
- Moisseiev E, Loewenstein A. Simulation of laser retinopexy around retinal breaks for ophthalmologists in training. *Ophthalmologica*. 2015;233:51-5.
- Sikder S, Tuwairqi K, Al-Kahtani E, Myers WG, Banerjee P. Surgical simulators in cataract surgery training. *Br J Ophthalmol*. 2014;98:154-8.
- Le TD, Adatia FA, Lam WC. Virtual reality ophthalmic surgical simulation as a feasible training and assessment tool: results of a multicentre study. *Can J Ophthalmol*. 2011;46:56-60.
- Solverson DJ, Mazzoli RA, Raymond WR, et al. Virtual reality simulation in acquiring and differentiating basic ophthalmic microsurgical skills. *Simul Healthc*. 2009;4:98-103.
- Privett B, Greenlee E, Rogers G, Oetting TA. Construct validity of a surgical simulator as a valid model for capsulorhexis training. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36:1835-8.
- Mahr MA, Hodge DO. Construct validity of anterior segment anti-tremor and forceps surgical simulator training modules. *J Cataract Refractive Surg*. 2008;34:980-5.
- Selvander M, Asman P. Cataract surgeons outperform medical students in EYESi virtual reality cataract surgery: evidence for construct validity. *Acta Ophthalmologica*. 2012;91:1-6.
- Park J, Waqar S, Kersey T, Modi N, Ong C, Sleep T. Effect of distraction on simulated anterior segment surgical performance. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37:1517-22.
- Waqar S, Park J, Kersey TL, Modi N, Ong C, Sleep TJ. Assessment of fatigue in intraocular surgery: analysis using a virtual reality simulator. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2011;249:77-81.
- Park J, Williams O, Waqar S, Modi N, Kersey T, Sleep T. Safety of non-dominant-hand ophthalmic surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38:2112-6.
- Ziv A, Small SD, Wolpe PR. Patient safety and simulation-based medical education. *Med Teach*. 2000;22:489-95.
- Aggarwal R, Mytton OT, Derbrew M, et al. Training and simulation for patient safety. *Qual Saf Health Care*. 2010;19:i34-i43.
- Ziv A, Wolpe PR, Small SD, Glick S. Simulation-based medical education: an ethical imperative. *Acad Med*. 2003;78:783-8.
- Cook DA, Hatala R, Brydges R, et al. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 2011;306:978-88.
- Gordon JA, Oriol NE, Cooper JB. Bringing good teaching cases "to life": a simulator-based medical education service. *Acad Med*. 2004;79:23-7.
- Samia H, Khan S, Lawrence J, Delaney CP. Simulation and its role in training. *Clin Colon Rectal Surg*. 2013;26:47-55.
- Saleh GM, Lamparter J, Sullivan PM, et al. The international forum of ophthalmic simulation: developing a virtual reality training curriculum for ophthalmology. *Br J Ophthalmol*. 2013;97:789-92.
- Daly MK, Gonzalez E, Siracuse-Lee D, Legutko PA. Efficacy of surgical simulator training versus traditional wet-lab training on operating room performance of ophthalmology residents during the capsulorhexis in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2013;39:1734-41.
- Belyea DA, Brown SE, Rajjoub LZ. Influence of surgery simulator training on ophthalmology resident phacoemulsification performance. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37:1756-61.
- McCannel CA, Reed DC, Goldman DR. Ophthalmic surgery simulator training improves resident performance of capsulorhexis in the operating room. *Ophthalmology*. 2013;120:2456-61.
- Issenberg SB, McGaghie WC, Petrusa ER, Gordon DL, Scalese RJ. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Med Teach*. 2005;27:10-28.
- Saleh GM, Theodoraki K, Gillan S, et al. The development of a virtual reality training programme for ophthalmology: repeatability and reproducibility (part of the International Forum for Ophthalmic Simulation Studies). *Eye (Lond)*. 2013;27:1269-74.
- Lowry EA, Porco TC, Naseri A. Cost analysis of virtual-reality phacoemulsification simulation in ophthalmology training programs. *J Cataract Refract Surg*. 2013;39:1616-7.