

Simulación en cirugía, ¿dónde estamos y a dónde llegaremos?

Jack J. Jakimowicz,* Caroline M. Jakimowicz**

Resumen

Se discute el estado actual y las perspectivas futuras de la simulación en el entrenamiento quirúrgico. Se destaca la implementación de las modalidades de simulación validadas en el programa de capacitación. Es necesario desarrollar simulación multimodal apoyada por módulos disponibles en internet para el aprendizaje con medios electrónicos y mediante videos, con el objetivo de impulsar el sistema de aprendizaje y alcanzar las competencias requeridas para convertirse en un cirujano experto.

Palabras clave: Simulación de realidad virtual, programa de capacitación, cirugía laparoscópica.

Abstract

With the introduction of new techniques and technologies, operative skills became a crucial part of surgical competence, deserving more attention. Implementation of validated simulation modalities into the training curriculum is emphasized. It became obvious that operative skills should be brought to an adequate level of proficiency using different available approaches. At the dawn of the 21st century it became apparent that the use of simulation to train and to assess technical surgical skills provided a good solution to offset the curtailed apprenticeship system. The current state and future perspectives of simulation in surgical training are discussed. Development and use of multimodality simulation supported by e-learning, video-learning in web-based modules, is needed to support the apprenticeship system in order to achieve the necessary competences to become an expert surgeon.

Key words: Virtual reality simulation, training curriculum, laparoscopic surgery.

El cirujano hindú Sushruta (siglo III a. C.) fue el primero en utilizar la simulación en el entrenamiento quirúrgico; recomendaba usar un melón para aprender a hacer incisiones y una muñeca de lino, de tamaño natural, para practicar los vendajes. A lo largo del tiempo la preparación de los cirujanos se ha basado en el sistema de aprendices.

Estos sistemas, sin embargo, estuvieron bajo escrutinio en los dos decenios pasados debido a varios factores. En primer lugar creció la conciencia de los pacientes y de las autoridades del sector salud sobre aspectos de seguridad y calidad de la atención; también aumentó la complejidad —y la dependencia— de la tecnología de los nuevos procedimientos basados en imágenes (laparoscopia, laparoscopia de un solo puerto) y se desarrollaron varias especialidades. Por último, hay que mencionar cambios económicos y sociales como la introducción de la Directiva Europea de la Jornada Laboral que dio como resultado una reducción drástica en las horas que los cirujanos jóvenes trabajaban a la semana. De acuerdo con los lineamientos de la Unión Europea, la jornada laboral no puede exceder 48 horas a la semana, lo que limita la exposición de los alumnos al trabajo clínico.^{1,2}

La introducción de la “evaluación por estrellas” en los hospitales creó un cisma entre el servicio y las prioridades de capacitación. Con el advenimiento de nuevas técnicas y tecnologías, las habilidades operatorias se convirtieron en la parte fundamental de las competencias quirúrgicas que

* Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering, Delft, The Netherlands.

** Department of Research and Education, and Department of Surgery, Catharina Hospital Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands.

Correspondencia:

Jack J. Jakimowicz.

Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering, Landsbergstraat 15,

2628 CE Delft, The Netherlands.

E-mail: jack.jakimowicz@cze.nl; jakimowi@planet.nl

Recibido para publicación: 11-05-2010

Aceptado para publicación: 28-09-2010

requiere más atención. Se volvió evidente que las habilidades operatorias deberían llevarse a un nivel adecuado de destreza usando las diferentes propuestas disponibles. En este siglo XXI ya se comprobó que la simulación para entrenar y evaluar las habilidades técnicas quirúrgicas ha sido una buena opción para suplir el limitado sistema tutorial.¹⁻³ La tecnología de simulación se ha desarrollado con rapidez y parece particularmente útil en los procedimientos basados en imágenes, como la laparoscopia, ya que permite a los cirujanos adquirir habilidades quirúrgicas específicas para enfrentar las interfaces complejas.

Con todos los avances en la tecnología de la simulación surge la pregunta de por qué es positiva y por qué debería usarse en el laboratorio. La simulación, ante todo, proporciona una oportunidad única para practicar habilidades psicomotoras, así como tareas auxiliares de algunos procesos y procedimientos completos. El entorno del laboratorio y las modalidades de simulación permiten al alumno aprender de los errores en un ambiente seguro, mientras que en la clínica puede ocasionarse daños a los pacientes.⁴ La estandarización y la repetibilidad alcanzan altos niveles, casi ilimitados, lo que satisface el principio de práctica deliberada de acuerdo con las descripciones de Ericson.⁵ En un laboratorio de habilidades todo lo que se hace se enfoca en el alumno y la enseñanza, no en cuidar al paciente, lo que da la sensación de seguridad respecto al aprendizaje y al entrenamiento. Además, la simulación proporciona una evaluación estandarizada y objetiva del desempeño. Hay que destacar, sin embargo, que solo es útil si está ampliamente validada e implementada en un programa adecuado de capacitación y en un nivel correcto.

En la actualidad existen diversas modalidades de simulación con propósitos didácticos, incluidos los paquetes tradicionales, los simuladores de realidad aumentada, los de desempeño humano, los animales vivos y los cadáveres humanos, entre otros. Los modelos de investigación disponibles y de bajo costo y los paquetes de entrenamiento se usan principalmente para practicar las habilidades básicas en cirugía abierta y laparoscópica. Sus beneficios más notables son su realismo sensorial, su costo-efectividad y su disponibilidad en general. Sus desventajas son la subjetividad de la evaluación (ya que requieren la presencia de un observador) y el hecho de que raramente pueden usarse para la práctica de un procedimiento completo. El mejor ejemplo de implementación exitosa de los paquetes de simuladores con un CD-ROM didáctico y la participación de un observador es el "Fundamentos de cirugía laparoscópica" desarrollado por la Sociedad de Cirujanos Gastroenterólogos y Endoscópicos Americanos. El módulo educativo de este programa incluye materiales sobre fisiología y el conocimiento básico de la laparoscopia. Este plan específico ha sido validado y aprobado por el Colegio Americano de Ci-

rujanos y se usa cada vez con mayor frecuencia en Estados Unidos y en otros países para la preparación en habilidades laparoscópicas básicas,⁶ como Botswana, África, donde dicha tecnología fue configurada usando dos simuladores, computadoras, cámaras web y el software Skype para capacitar y evaluar a los cirujanos, con ayuda de un supervisor de la Universidad de Toronto.⁷

Los simuladores de realidad virtual se han beneficiado del rápido progreso de la tecnología computacional y de gestión de gráficos. Ofrecen ventajas como la evaluación objetiva del desempeño, interactividad, disponibilidad de video e instrucción didáctica. Gurusamy⁸ publicó una revisión de pruebas controladas con asignación al azar en la que analizó la diferencia entre la capacitación con simulación virtual en el ámbito de la cirugía laparoscópica y la impartida con el paquete entrenador; demostró que la primera aumentó el desempeño y disminuyó la cantidad de errores y el tiempo necesario para completar la tarea.⁸ Otro hallazgo importante fue que en alumnos con experiencia limitada la capacitación virtual era más exacta que con los paquetes entrenadores. El entrenamiento virtual dio como resultado una mayor reducción del tiempo de operación, así como del número de errores y movimientos innecesarios, en comparación con la capacitación laparoscópica con paquetes estándar. El desempeño global fue también mejor en el grupo de realidad virtual.⁸

La simulación virtual es útil en los procedimientos de imagenología practicada en la cirugía vascular, sobre todo en la endoluminal, como se informó en una revisión recientemente publicada.⁹ Con el uso de la simulación virtual por computadora el médico en entrenamiento fortalece sus habilidades en la colocación de endoprótesis vasculares en las carótidas.¹⁰ Los buenos resultados alcanzados hicieron que la *Food and Drugs Administration* considerara este tipo de simulación como un componente integral en la capacitación al respecto.⁹ La simulación mediante realidad virtual tiene algunas desventajas como la falta de retroalimentación sensorial real, la necesidad de mejorar los protocolos de evaluación, particularmente en la capacitación de procedimientos, y que solo esté disponible en técnicas como la imagenología.

El simulador de realidad aumentada es la combinación de realidad virtual y realidad física en un sistema. La principal ventaja de la realidad aumentada sobre la virtual es que permite que el alumno use los mismos instrumentos que se van a utilizar en un procedimiento específico. Este simulador proporciona retroalimentación sensorial real respecto al ambiente en el que se está trabajando, donde los instrumentos reales interactúan con los objetos reales. La simulación de realidad aumentada es un sistema de aprendizaje por sí mismo ya que combina la realización de maniobras mecánicas con videos de demostración y audios de instrucción, y el desempeño del

estudiante es registrado y evaluado con un sistema de seguimiento que permite su repetición posterior.¹¹ Los simuladores de realidad aumentada permiten la valoración objetiva del desempeño; son interactivos pero carecen de protocolos de evaluación adecuados. Han demostrado su utilidad en el entrenamiento de habilidades laparoscópicas básicas pero también en la capacitación para procedimientos como la cirugía colónica. Una comparación entre la realidad virtual y la realidad aumentada respecto del método para suturar corroboró que la segunda es superior, sobre todo si sigue un protocolo de evaluación mejorado.¹²⁻¹⁴

Los simuladores humanos, usados específicamente para el entrenamiento en reanimación, resucitación, traumatismo y anestesiología, hacen posible la evaluación objetiva, son interactivos y facilitan la corrección de datos en el momento mismo del aprendizaje. El uso de animales vivos, desde la perspectiva ética y de costo-efectividad, se limita a la capacitación en procedimientos laparoscópicos y de imagen. La necesidad de instalaciones especiales para evitar los riesgos de infecciones y las regulaciones legales en la mayor parte de los países europeos, restringen el uso de animales vivos para propósitos de capacitación.

Los cadáveres humanos frescos congelados o conservados de manera especial ofrecen una oportunidad única para el entrenamiento en procedimientos de imagen o en cirugía abierta; así se ha establecido en el plan de estudios de la cirugía colorrectal en Inglaterra. Aunque esta modalidad es, sin duda, superior a otras, necesita un preceptor experto y un protocolo de evaluación orientado a las habilidades técnicas. Además, está fuertemente limitada por la disponibilidad de cadáveres y los altos costos del procesamiento y conservación de los mismos, así como de las instalaciones necesarias. Una revisión sistemática de Sutherland y sus colaboradores llevó a la conclusión de que los simuladores de realidad virtual produjeron mejores resultados que la ausencia de preparación. Los "simuladores de paquete" han dado resultados inconsistentes. La simulación con modelos puede ser superior a la capacitación estándar y la capacitación con cadáveres puede ser mejor que los modelos estándar.¹⁵ Las simulaciones con modelos de tejido artificial se usan principalmente para el entrenamiento de habilidades básicas o en actividades auxiliares, y representan una alternativa viable para sustituir los modelos animales; pueden usarse en procedimientos de imagen y en cirugía abierta. La Oficina Europea de Calificaciones de Cirugía ha implementado un simulador de este tipo para la evaluación de la competencia técnica en cirugía vascular abierta.¹⁶ No obstante, la simulación en la cirugía abierta está limitada por diversos factores: la poca disponibilidad de modelos de tejido artificial de buena calidad, los altos costos y la falta de simuladores virtuales; además, no parece atraer a los alumnos ni a los educadores.

Se ha señalado que la representación de una operación permite practicar de manera efectiva las habilidades quirúrgicas técnicas y no técnicas,³ tanto en procedimientos de imagen como de cirugía abierta. Sin embargo, esto requiere una instalación especial costosa e inversión en mano de obra y logística compleja, lo que limita su desarrollo a futuro. Las tecnologías de simulador fortalecen las habilidades psicomotoras básicas quirúrgicas para tareas auxiliares de procedimientos y para procedimientos completos.

A pesar de los resultados esperanzadores, la aplicación de la simulación en la capacitación de los cirujanos avanza lentamente. Las razones podrían ser la subestimación de su importancia para la seguridad del paciente y para garantizar la calidad de las cirugías. El personal sanitario, las autoridades y las compañías aseguradoras, aunque comprometidas con el bienestar de los pacientes, tienden a adoptar una posición ambivalente cuando se enfrentan a nuevas modalidades de entrenamiento.³ Deberían darse cuenta que el principal objetivo de la capacitación con simulación es crear un ambiente seguro para ejercitar la cirugía y hacer más fácil la evaluación y la validación de las habilidades técnicas, y permitir el desarrollo de tareas estandarizadas conforme las buenas prácticas e, incluso, apoyar la planificación de las carreras de los médicos.¹⁷

El amplio uso de procedimientos quirúrgicos de mínima invasión y la creciente importancia de las técnicas de imagen aceleraron el desarrollo de la tecnología de simulación y detonaron la atención de los educadores y los directores de los programas de capacitación, que la consideraron una contribución al programa de entrenamiento.

En 2001, un estudio en directores de programas en cirugía general en Estados Unidos mostró que 92% creía en la necesidad de capacitar en las habilidades técnicas antes del ingreso al quirófano.¹⁸ Korndorffer y sus colaboradores indicaron que el entrenamiento en las habilidades de laboratorio fortalece la eficacia educativa, disminuye los costos y mejora la seguridad de los pacientes al reducir los errores.¹⁹ En 2006, directores del programa en Estados Unidos determinaron que el laboratorio de habilidades laparoscópicas es un método efectivo para aprender cirugía mínimamente invasiva. En una investigación sobre la capacitación de residentes en cirugía mínimamente invasiva en Canadá,²⁰ la opinión de las autoridades de la división quirúrgica y de la jefatura de departamento fue que el método de entrenamiento más efectivo es la exposición temprana a la sala de operaciones en las cirugías mínimamente invasivas básicas (100%), le siguió el simulador laparoscópico de realidad virtual (91%) y los laboratorios animales (88%). Los programas de cómputo fueron considerados útiles en 42%, mientras que el método menos útil fueron las lecturas didácticas (16%).

La afirmación de que en los próximos cinco años 62% de los centros académicos agregará simuladores laparoscópi-

cos virtuales a su planes de enseñanza es un indicador importante del papel cada vez mayor que tiene la simulación en los procedimientos imagenológicos.²⁰

Obviamente, hoy en día se pone más atención a la implementación de las modalidades de simulación en el plan de capacitación que hace una década. Prevalece la pregunta: ¿cómo acelerar este proceso y llevar las modalidades a un mayor nivel? Es evidente la necesidad de introducir las modalidades de simulación en un plan de estudios revisado y estructurado adecuadamente.³ Sin duda, el papel de la simulación es apoyar los objetivos de capacitación y los simuladores solo son valiosos en el contexto de un plan educativo integral.²¹ Antes de que se introduzca la simulación en el plan de estudios debe hacerse una validación estandarizada y de acuerdo con las recomendaciones existentes.²²

Los procesos de validación mediante métodos subjetivos y objetivos deberían realizarse en laboratorios de habilidades o en instalaciones especiales, con personal médico y procesamiento adecuado del conocimiento. El tiempo de ejecución todavía se usa como un parámetro importante en estudios en los que se evalúa la validez de los simuladores, sin embargo, este parámetro no refleja la calidad de la ejecución de una tarea específica. Sin duda deben desarrollarse mejores parámetros de evaluación que reflejen la calidad del desempeño de los alumnos. Es necesario estudiar la retención de habilidades adquiridas, como la transferencia de habilidades entre diferentes procedimientos basados en imágenes (endoscopia flexible comparada con laparoscopia), pues la información podría ser aplicada cuando se desarrolle un programa de capacitación.^{23,24}

Una de las primeras iniciativas para el desarrollo, validación e implementación de un programa de estudios para la colecistectomía laparoscópica a partir de la simulación virtual fue realizada bajo los auspicios de la Asociación Europea para la Cirugía Endoscópica en Holanda. Los datos preliminares se publicaron hace varios años.²⁵ Más recientemente, Aggarwal dio a conocer los resultados de un análisis basado en evidencias sobre el programa de capacitación virtual para la adquisición de habilidades técnicas para la colecistectomía laparoscópica.²⁶ En Reino Unido e Irlanda se está desarrollando un programa de entrenamiento para procedimientos como la cirugía colorrectal laparoscópica, que incluye diferentes modalidades de capacitación como el uso de un modelo de cadáver humano.

Diseñar modalidades de simulación efectivas e implementarlas en un programa de capacitación exitoso es una tarea compleja. Se requiere una propuesta multidisciplinaria que involucre a especialistas médicos, educadores con conocimiento en teorías educativas, psicólogos, ingenieros en diseño y, por supuesto, alumnos. La propuesta de tres fases desarrollada en el marco del proyecto “Aplicaciones militares de simuladores y capacitación basada en la in-

vestigación empírica” es útil para diseñar modalidades de simulación e implementarlas en los programas de capacitación.²⁷ La primera fase consiste en el análisis de las necesidades de capacitación, en el que se determina el proceso o tarea a ser enseñado. Le sigue la especificación de los medios de capacitación, donde se definen los requerimientos de la modalidad de entrenamiento y después los estudios de validación de la modalidad seleccionada. La tercera fase es el diseño del programa de capacitación, que describe el actual programa de capacitación y establece qué modalidades de simulación se necesitan. Finalmente, tras completar esta propuesta de tres fases se incluye el simulador en el plan de estudios.

La simulación en la cirugía se ha enfocado principalmente en la enseñanza de las habilidades técnicas; sin embargo, se requiere la adición de habilidades cognitivas. El primer informe sobre un simulador cognitivo para la educación y la capacitación médicas describió el marco para el diseño y la evaluación de tales simuladores, incluidas las variaciones cognitivas para una tarea psicomotora básica. Las “habilidades de laboratorio” son una herramienta de evaluación y aprendizaje de toma de decisiones para la colecistectomía laparoscópica que parece tener validez para la fase de contenido, como señalaron Sarker y sus colaboradores.²⁸ Con “el análisis de tareas cognitivas” de la colecistectomía laparoscópica se identificaron aspectos cognitivos de importancia para la capacitación y la evaluación en ambientes reales y simulados. El uso de “habilidades de laboratorio” combinado con una simulación de la realidad virtual podría conjuntar la enseñanza de habilidades técnicas, el conocimiento y la capacidad de tomar decisiones, lo que resulta en una propuesta global que reforzaría la adquisición de habilidades.²⁸ Sin duda este tipo de propuestas podría dar una nueva dimensión a la realidad virtual y a la simulación de realidad aumentada en la cirugía.

Recientemente se introdujo el sistema Mentor Learn[®], que combina el aprendizaje electrónico y la simulación virtual. Se espera que ofrezca nuevas oportunidades para aprender, enseñar y evaluar en línea con la posibilidad de diseñar un plan de capacitación individualizado.²⁹

Los simuladores de realidad virtual y realidad aumentada permiten recolectar datos objetivos sobre el desempeño, sin embargo, debe elaborarse una mejor metodología para evaluar la actuación del alumno. En la actualidad se están desarrollando sistemas de video en combinación con una matriz mejorada para medir el desempeño en la simulación virtual y en la aumentada. El análisis de video es una solución prometedora para monitorear y evaluar la ejecución, así como para detectar errores.

Ningún método de evaluación por sí solo puede proporcionar todos los datos que se requieren para juzgar algo tan complejo como la prestación de servicios profesiona-

les por parte de un médico exitoso, como señaló Miller en 1990;³⁰ sin embargo, el desarrollo de una herramienta de evaluación para validar el plan de capacitación merece alta prioridad. El estudio de Schijven y sus colaboradores en el que comparan la competencia del cirujano al inicio de su carrera profesional tras haber seguido diferentes programas de capacitación en Canadá y uno en Holanda, es una contribución importante a este proceso.³¹ Se usaron tres métodos para la comparación multifase de la competencia clínica. Para evaluar el conocimiento y el razonamiento clínico analítico se usó el “rompecabezas interactivo integral” desarrollado por Ber.³² Para valorar la competencia en las habilidades de comunicación y la solución de problemas se aplicó un examen de evaluación y manejo del paciente.³³ Las habilidades técnicas fueron calificadas por medio de la evaluación orientada a las habilidades técnicas,³⁴ que si bien ha sido valorada y validada ampliamente, depende de la opinión subjetiva del observador.

Debería explorarse este tipo de evaluación del plan de capacitación en procedimientos imagenológicos, particularmente el multimodal apoyado en medios electrónicos (*e-learning*), videos (*video-learning*) e internet. En diferentes países la capacitación con simulación y laboratorio de habilidades es obligatoria y está integrada al plan de estudios de los residentes. El uso de tal herramienta facilitaría la validación de nuevos programas y la medición de su impacto (efecto) en las habilidades para la práctica clínica.

Deben continuar las investigaciones sobre capacitación con simulación en cirugía. La mayoría muestran que esta modalidad mejora las habilidades, lo que sugiere que debería considerarse una herramienta valiosa de la enseñanza. Sin embargo, es preciso validar adecuadamente aspectos como la transferibilidad a la práctica clínica, el impacto en la seguridad y la calidad del desempeño y la retención (en el tiempo) de las habilidades adquiridas. Los sistemas tutoriales continúan siendo una piedra angular del programa de capacitación quirúrgica, pero el entrenamiento con simulación multimodal apoyado por módulos basados en herramientas electrónicas, video e internet puede contribuir a la adquisición de las habilidades necesarias para los cirujanos expertos.

Referencias

- Aggarwal R, Darzi A. Technical-skills training in the 21st century. *N Engl J Med* 2006;25:2695-2696.
- Jakimowicz JJ, Cuschieri A. Time for evidence-based minimal access surgery training—simulate or sink. *Surg Endosc* 2005;19:1-3.
- Jakimowicz J, Fingerhut A. Simulation in surgery. *Br J Surg* 2009;96:563-564.
- Peyton JWR. *Teaching and Learning in Medical Practice*. London: Manticore Europe Ltd.; 1998.
- Ericson KA. Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains. *Acad Med* 2004;79(10 suppl):570-581.
- Scott DJ, Ritter EM, Tesfay ST, Pimentel EA, Nagji A, Fried GM. Certification pass rate of 100% for fundamentals of laparoscopic surgery skills after proficiency-based training. *Surg Endosc* 2008;22:1887-1893.
- Okraïnec A, Henao O, Azzie G. Telesimulation: an effective method for teaching the fundamentals of laparoscopic surgery in resource-restricted countries. *Surg Endosc* 2010;24:417-422.
- Gurusamy K, Aggarwal R, Palanivela L, Davidson BR. Systemic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery. *Br J Surg* 2008;95:1088-1097.
- Tsang JS, Naughton PA, Leong S, Hill ADK, Kelly CJ, Leahy A. Virtual reality in endovascular surgery training. *Surgeon* 2008;6:214-222.
- Hsu JH, Younan D, Pandalai S, Gillespie BT, Jain RA, Schippert DW, et al. Use of computer simulation for determining endovascular skill levels in carotid stenting model. *J Vasc Surg* 2004;40 6:1118-1125.
- Botden SMBI, Torab F, Buzink SN, Jakimowicz JJ. The importance of haptic feedback in laparoscopic suturing training and the additive value of virtual reality simulation. *Surg Endosc* 2008;22:1214-1222.
- Botden SMBI, Jakimowicz JJ. What is going on in augmented reality simulation in laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 2009;23:1693-1700.
- Botden SMBI, Hingh IHJT, Jakimowicz JJ. Suturing training in augmented reality: gaining proficiency in suturing skills faster. *Surg Endosc* 2009;23:2131-2137.
- Botden SMBI, Hingh IHJT, Jakimowicz JJ. Meaningful assessment method for laparoscopic suturing training in augmented reality. *Surg Endosc* 2009;23:2221-2228.
- Sutherland LM, Middleton PF, Anthony A, Hamdorf J, Cregan P, Scott D, et al. Surgical simulation: a systematic review. *Ann Surg* 2006;243:291-330.
- Pandey CVA, Wolfe JHN, Liapis CD, Bergqvist D. The examination assessment of technical competence in vascular surgery. *Br J Surg* 2006;93:1132-1138.
- Schijven M, Jakimowicz J, Carter F. How to select aspirant laparoscopic surgical trainees: establishing concurrent validity comparing XITACT LS500 index performance scores with standardized psychomotor aptitude test battery scores. *J Surg Res* 2004;121:112-119.
- Haluck RS, Marshall RL, Kummel TM, Melkonian MG. Are surgery training programs ready for virtual reality? A survey of program directors in general surgery. *J Am Coll Surg* 2000;193:600-605.
- Korndorffer JR, Stefanidis D, Scott DJ. Laparoscopic skills laboratories: current assessment and a call for resident training standards. *Am J Surg* 2006;192:17-22.
- Chan B, Martel G, Poulin EC, Mamazza J, Boushey RP. Resident training in minimally invasive surgery: a survey of Canadian departments and division chairs. *Surg Endosc* 2010;24:499-503.
- Satava RN, Cuschieri A, Hamdorf J. Metrics for objective assessment. *Surg Endosc* 2003;17:220-226.
- Carter FJ, Schijven MP, Aggarwal R, Grantcharov T, Francis NK, Hanna GB, et al. Consensus guidelines for validation of virtual reality surgical simulators. *Surg Endosc* 2005;19:1523-1532.
- Buzink SN, Goossens RH, Schoon EJ, de Ridder H, Jakimowicz JJ. Do basic psychomotor skills transfer between different image-based procedures? *World J Surg* 2010;34:933-940.
- Buzink SN, Botden SMBI, Heemskerck J, Goossens RHM, De Ridder H, Jakimowicz JJ. Camera navigation and tissue manipulation; are these laparoscopic skills related? *Surg Endosc* 2009;23:750-757.
- Schijven MP, Jakimowicz JJ, Broeders IA, Tseng LN. The Eindhoven laparoscopic cholecystectomy training course—improving operation room performance using virtual reality training: results from first

- EAES accredited virtual reality training's curriculum. *Surg Endosc* 2005;19:1220-1226.
26. Aggarwal R, Crocket P, Dias A, Misra A, Ziprin P, Darzia A. Development of a virtual reality training curriculum for laparoscopic cholecystectomy. *Br J Surg* 2009;96:1086-1093.
27. Farmer E, van Rooij J, Reimersma J, Jorna P, Moraal J. *Handbook on Simulation-Based Training*. London: Ashgate Publishing Ltd.; 1999.
28. Sarker SK, Rehman S, Ladwa M, Chang A, Vincent C. A decision-making learning and assessment tool in laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 2009;23:197-203.
29. Simbionix, medical training simulators and clinical devices for MIS (minimally invasive surgery. Company Newsletter January 2010. [Consultado el 29 de septiembre de 2010.] Disponible en www.simbionix.com/index.html.
30. Miller GE. The assessment of clinical skills/competence/performance. *Acad Med* 1990;65(9 suppl):S63-S67.
31. Schijven MP, Reznick RK, Ten Cate OTH, Grantcharov TP, Regehr G, Satterthwaite L, et al.. Transatlantic comparison of the competence of surgeons at the start of their professional career. *Br J Surg* 2010;97:443-449.
32. Ber R. The CIP (comprehensive integrative puzzle) assessment method. *Med Teach* 2003;25:171-176.
33. MacRae H, Cohen R, Regehr G, Reznick R, Burnstein M. A new assessment tool: the patient assessment and management examination. *Surgery* 1997;122:335-343.
34. Reznick R, Regehr G, MacRae H, Martin J, McCulloch W. Testing technical skill via innovative "bench station" examination. *Am J Surg* 1997;173:226-230.