

ROL DE LA SIMULACIÓN EN EL ENTRENAMIENTO DE CIRUGÍA MÍNIMAMENTE INVASIVA. ARTÍCULO DE REVISIÓN

ALEXIS SÁNCHEZ¹ 

OMAIRA RODRÍGUEZ² 

RENATA SÁNCHEZ³

CRISTINA INCHAUSTI P⁴ 

ROLE OF SIMULATION IN MINIMALLY INVASIVE SURGERY TRAINING

RESUMEN

La cirugía laparoscópica ha sido uno de los grandes adelantos de la medicina moderna, sin embargo, la incorporación de esta tecnología a la práctica quirúrgica trajo consigo implicaciones en la enseñanza de la cirugía. La cirugía laparoscópica es una técnica más difícil de dominar que la cirugía abierta, en la cual se realizan procedimientos y maniobras particulares que requieren de la **adquisición de habilidades específicas**. La tendencia en la enseñanza de nuevas técnicas o procedimientos se ha enfocado en el uso de la **simulación** como una herramienta que permite adquirir las destrezas necesarias en un ambiente seguro, sin comprometer la seguridad y eficacia de los procedimientos. Por otro lado, decidir el momento en el cual el cirujano en entrenamiento ha alcanzado las destrezas necesarias para incorporarse a cirugías *in vivo*, requiere de **objetivos métodos de evaluación**. En la búsqueda de alternativas de mayor objetividad, la tendencia mundial durante los últimos años ha sido dirigir la atención hacia el estudio de **patrones de movimientos** al momento de realizar determinada tarea o procedimiento.

Palabras clave: Cirugía laparoscópica, Simulación, Modelos de enseñanza, Evaluación objetiva, Patrones de movimiento, Desempeño del cirujano

ABSTRACT

Laparoscopic surgery has been one of the great advances in modern medicine, however the incorporation of this technology into surgical practice brought with it implications in the teaching of surgery, laparoscopic surgery is a more difficult technique than open surgery, in which particular procedures and maneuvers are performed that require the acquisition of specific skills. The trend in the teaching of new techniques or procedures has focused on the use of simulation as a tool that allows acquiring the necessary skills in a safe environment, without compromising the safety and effectiveness of the procedures. On the other hand, deciding the moment in which the surgeon in training has reached the necessary skills to join *in vivo* surgeries requires objective evaluation methods. In the search for more objective alternatives, the global trend in recent years has been to direct attention towards the study of movement patterns when performing a certain task or procedure.

Key words: Laparoscopic surgery, Simulation, Teaching models, Objective evaluation, Movement patterns, Surgeon performance

1. Cirujano General. Director del programa de Cirugía Robótica. Certified Healthcare Simulation Educator (CHSE), USA.
2. Cirujano General. Profesor Agregado de la Escuela de Medicina Luis Razetti. UCV. Unidad de Cirugía Robótica y de Invasión mínima (UNIC), Caracas-Venezuela.
3. Cirujano Oncólogo. Unidad de Cirugía Robótica y de Invasión Mínima (UNIC), Caracas-Venezuela.
4. Cirujano General. Adjunto servicio de cirugía Hospital Dr. Miguel Pérez Carreño. Caracas- Venezuela, Correo-e: cristinchausti@gmail.com

Recepción: 29/10/2022
Aprobación: 01/12/2022
DOI: [10.48104/RVC.2022.75.2.4](https://doi.org/10.48104/RVC.2022.75.2.4)
www.revistavenezolanadecirugia.com

La cirugía laparoscópica ha sido uno de los grandes adelantos de la medicina moderna, ofreciendo grandes beneficios a los pacientes; pero a su vez exigiendo un mayor entrenamiento por parte de los cirujanos. La cirugía laparoscópica como la conocemos hoy día, no es sino el resultado de los esfuerzos repetidos, durante muchas generaciones, de cirujanos visionarios que querían ofrecer opciones quirúrgicas, sin causar el daño involuntario que se genera al abrir la pared abdominal.^(1,2)

Esta tecnología presenta algunas dificultades técnicas como lo son: la pérdida de la percepción de profundidad producto de la visión en dos dimensiones, disminución en el rango de movimientos de los instrumentos, disminución de la sensación táctil y la disparidad entre la retroalimentación visual y propioceptiva que se produce debido a que los movimientos de la mano en una dirección llevan a un resultado contrario en el extremo opuesto del instrumento, conocido como efecto fulcrum.⁽³⁻⁵⁾

Múltiples técnicas actuales en cirugía mínimamente invasiva (CMI) requieren de largas curvas de aprendizaje, relacionadas no solo con el abordaje, sino con el uso de nuevos dispositivos e instrumental.^(6,7) Esta complejidad de las nuevas técnicas quirúrgicas, ha llevado a cambios en la enseñanza de la cirugía actual.

Modelos de enseñanza

El modelo tradicional de enseñanza de la cirugía propuesto por el Dr. William Halsted en 1892, basado en el entrenamiento en ambientes reales, bajo la supervisión de tutores y resumido en la frase “ve uno, realiza uno y enseña uno” debe quedar atrás.⁽⁸⁻¹⁰⁾

A pesar del compromiso de la mayoría de los médicos y cirujanos en alcanzar el más alto estándar, el error médico ocurre. En el año 1999 el reporte del Instituto de Medicina de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, titulado “Error es de Humanos” llamó la atención sobre aspectos relacionados con la seguridad del paciente. De acuerdo al documento, entre 44.000 y 98.000 muertes por año podrían atribuirse al error médico.⁽¹¹⁾

Durante años se ha insistido en que el entrenamiento de la cirugía laparoscópica debe llevarse a cabo en laboratorios diseñados para tal fin y no directamente sobre el paciente.^(8,12,13)

Basados en el modelo de adquisición de habilidades psicomotoras descrito por Fitts y Posner (Figura 1),⁽¹⁴⁾ queda claro que la primera y segunda fase deben superarse en el laboratorio y no en el quirófano. El cirujano experto centra su atención en el componente cognitivo del procedimiento, como, por ejemplo, el reconocimiento de la anatomía y planificación de los siguientes pasos de la cirugía.

Gallagher *et al*⁽¹⁵⁾ insisten en la necesidad de superar dificultades relacionadas con habilidades psicomotrices, percepción espacial y de profundidad, fuera de la sala de operaciones, pues de lo contrario se altera la capacidad de concentración del individuo (Figura 2).

FASES	DESEMPEÑO	META
Cognitiva	ERRÁTICO, PASO A PASO	ENTENDER LA MECÁNICA
Integración	MÁS FLUIDO, CON POCAS INTERRUPCIONES	MAYOR COMPRENSIÓN
Automatismo	CONTINUO, FLUIDO, MÁS REFINADO	MEJORAR VELOCIDAD, PRECISIÓN Y EFICIENCIA

Figura 1. Adquisición de habilidades psicomotoras. Modelo de Fitts y Postner

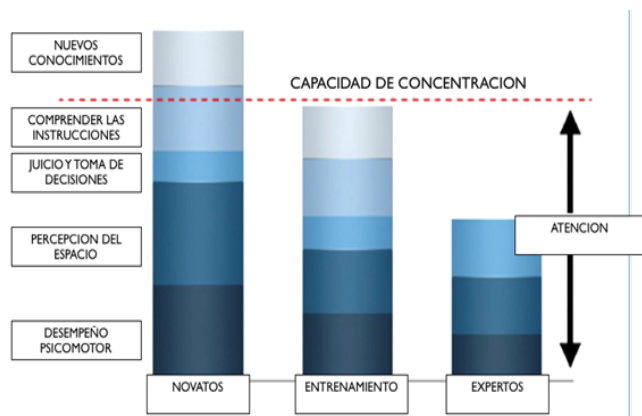


Figura 2. Capacidad de concentración y tareas a cumplir durante la cirugía

Papel de la simulación en el entrenamiento

La simulación consiste en recrear una actividad peligrosa en un ambiente seguro y libre de riesgos. Un simulador es un dispositivo, modelo o conjunto de condiciones, usado para entrenar individuos mediante la imitación de una situación que enfrentará en la vida real.⁽¹⁶⁾

El separar la práctica, del desempeño en ambientes reales, ha demostrado su invaluable beneficio en otros campos como los deportes, la música y la aviación.⁽¹⁶⁾

El uso de simuladores en cirugía se remonta a muchos años atrás, sin embargo, no eran comúnmente utilizados. Ambrose Paré, considerado como uno de los padres de la cirugía, durante el siglo XVI, llevaba cadáveres a su casa para la práctica de nuevas técnicas quirúrgicas. Trabajando en tejidos vivos o modelos inanimados los cirujanos han desarrollado procedimientos quirúrgicos novedosos sin sacrificar la seguridad de los pacientes.⁽¹⁷⁾ Numerosas investigaciones han mostrado que las habilidades adquiridas mediante la formación con simulación se trasladan de manera efectiva al entorno real.⁽¹⁸⁻²¹⁾

Los simuladores actuales en medicina comprenden un amplio espectro de herramientas y métodos de costo variable. Los modelos inanimados son los de menor costo y mayor disponibilidad, se centran en superar las dificultades iniciales de la CMI, para lo cual no se requiere de gran similitud con la realidad. El mejor ejemplo de este tipo de simuladores y su utilidad como herramienta de entrenamiento y evaluación lo constituye la incorporación del McGill inanimate system for training and evaluation of laparoscopic skills (MISTELS), al curso de entrenamiento Fundamentos de Cirugía Laparoscópica (FLS).^(22,23)

Convencidos de la gran utilidad de los modelos inanimados los autores han descrito y validado modelos de entrenamiento en apendicectomía laparoscópica (Figura 3A),^(24,25) modelos de entrenamiento para la exploración laparoscópica de la vía biliar (Figura 3B);^(26,27) el impacto de este último modelo en los resultados de la cirugía fue reportado en el año 2011, así mismo, se describió su incorporación al entrenamiento en cirugía robótica asistida con el Sistema DaVinci®.^(28,29)

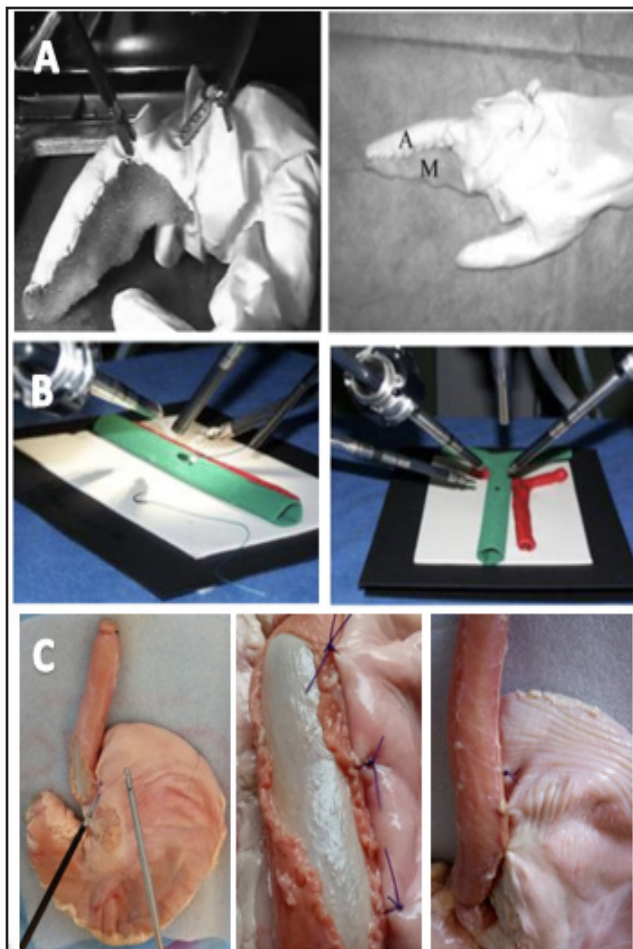


Figura 3. A. Modelo inanimado para la práctica de apendicectomía laparoscópica (24) B. modelos de entrenamiento para la exploración laparoscópica de la vía biliar (29) C. Modelo de esófago-estómago porcino para la realización de Cardiomitomía de Heller. (31)

Los modelos animales o cadáveres permiten la práctica de procedimientos completos, obteniendo una óptima retroalimentación propioceptiva al trabajar con tejidos reales, así como el control adecuado de la hemostasia en los modelos animales. Sin embargo, son modelos costosos, que requieren de ambientes especializados y cumplir con regulaciones legales.^(8,17) El cerdo es el modelo animal utilizado con mayor frecuencia, pero el conejo (*Oryctolagus cuniculus*) es de menor costo y puede ser de utilidad para algunos procedimientos específicos, como apendicectomía y autoaumento vesical, como lo reportamos en el año 2008.⁽³⁰⁾

En un intento por aprovechar las ventajas del trabajo con tejidos reales y disminuir los costos, se han descrito modelos ex vivo, como el uso del complejo hepatobiliar del cerdo para la práctica de colecistectomía a través de un solo puerto, el pollo para la práctica de la pieloplastia laparoscópica y el esófago-estómago porcino para la realización de Cardiomitomía de Heller (Figura 3C).⁽³¹⁻³³⁾

Los simuladores virtuales son una excelente opción, permitiendo recrear ambientes realistas con un gran detalle anatómico. Opciones como VR-Mist®, LapMentor®, LapSim®, proporcionan la opción de realizar tareas básicas y procedimientos completos; con la ventaja de proporcionar retroalimentación automática.⁽³⁴⁻³⁶⁾ En Venezuela ingenieros de la empresa Ludopia Inc, asesorados por los autores desarrollaron la aplicación Quiro® que permite una excelente familiarización con el uso de la óptica laparoscópica y la navegación dentro de la cavidad abdominal.⁽³⁷⁾

Por último, la práctica de procedimientos específicos para cada paciente, mediante la reproducción de modelos virtuales o la impresión de modelos tridimensionales (3D), se convertirá en un futuro cercano en un excelente ejercicio previo al acto quirúrgico, hacer la misma operación varias veces antes de realizar el procedimiento en el paciente se ha convertido en un campo apasionante de la simulación.⁽³⁸⁻⁴⁰⁾

Teorías de aprendizaje en el adulto

El aprendizaje será más efectivo en cuanto se ajuste a las teorías del aprendizaje del adulto, no basta con realizar horas y horas de simulación, si estas no son adecuadamente planificadas y dirigidas.

Antiguas teorías veían al estudiante como un receptor pasivo, en el cual los docentes vertían todo el conocimiento, el foco se centraba en el tema y no en el estudiante.⁽⁴¹⁾ Las teorías más recientes toman en cuenta la relación enseñar – aprender en un contexto mucho más amplio, el aprendiz es una mente comprometida que se forma tanto por acciones con el ambiente como por factores situacionales.⁽⁴¹⁾ Malcom Knowles^(42,43) ha desarrollado un concepto llamado “andragogía”, definido como “el arte y ciencia de ayudar a aprender al adulto”, esta teoría establece que el adulto no es pasivo, se trata de un ente activo.^(42,43)

Por otro lado, de acuerdo a la teoría del aprendizaje basado en experiencia, desarrollada por Kolb,⁽⁴¹⁾ el proceso de aprendizaje

ocurre en un ciclo (Figura 4) finalizando en la experimentación activa, que permitirá poner en práctica lo aprendido.

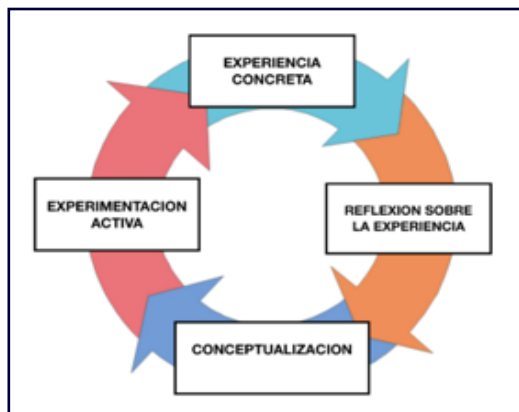


Figura 4. Teoría de aprendizaje en el adulto basada en experiencia

Knowles ^(42,43) y Kolb ⁽⁴¹⁾ describen que entrenar al cirujano mediante el uso de simulación, le sitúa en un ambiente favorable donde el cirujano toma gran responsabilidad en el proceso de aprendizaje, puede aprender a su propio ritmo, cuenta con elementos para evaluar el progreso y obtiene retroalimentación.

De acuerdo a Ericsson ⁽⁴⁴⁾, el mejor camino para alcanzar el más alto nivel de habilidades se trata de prácticas dirigidas a necesidades específicas para cada individuo, identificadas por un mentor; así como la retroalimentación inmediata.⁽⁴⁴⁾ Así mismo Gauger et al, ⁽⁴⁵⁾ Korndorffer et al,⁽²⁰⁾ han demostrado que la capacidad de los cirujanos en alcanzar la competencia mejora considerablemente al establecer un sistema de retroalimentación y al establecer metas, lo cual pudiera incluso conducir a una disminución en la curva de aprendizaje.⁽⁴⁶⁾

La incorporación de un sistema objetivo de evaluación durante el entrenamiento es una necesidad para establecer un sistema de enseñanza realmente efectivo.

Evaluación objetiva de desempeño en cirugía laparoscópica

El tradicional método de evaluación de destrezas, donde el tutor evalúa de acuerdo a su apreciación es un método muy subjetivo, que tiende a sobrevalorar las destrezas.

La creación de herramientas de evaluación objetivas no ha sido tarea sencilla. Dentro de los parámetros utilizados, el tiempo en el cual se completa determinada tarea no siempre es reflejo de una adecuada práctica quirúrgica, estudios han demostrado que cuando el cirujano trata de terminar la tarea en menor tiempo, lleva a cabo un mayor número de movimientos por minuto o incluso movimientos bruscos.^(47,48) El principal aspecto de la evaluación debe centrarse en cómo se completa la tarea y no en lo rápido que se realiza.

Szalay *et al.* ⁽⁴⁹⁾ evidencian que la evaluación de la calidad del resultado final del procedimiento usando parámetros como calidad del anudado o anastomosis, tiene correlación con

las destrezas del cirujano; concluyendo que puede ser una herramienta útil, pero la confiabilidad interobservador no es tan alta como la deseada por lo que debe hacerse en conjunto con métodos más objetivos.

El uso de escalas de evaluación incluyendo parámetros relacionados con el dominio del método y penalidades por errores cometidos durante el procedimiento pudiera contribuir a una evaluación más fidedigna del desempeño. El FLS utiliza dos parámetros de evaluación, tiempo y número de errores cometidos; la confiabilidad y validez de este método ha sido demostrada en múltiples estudios.⁽⁵⁰⁻⁵²⁾

Durante la evaluación OSATS (Objective Structured Assessment of technical Skills) el cirujano realiza múltiples tareas, siendo evaluado mediante listas de chequeos específicas para cada tarea y mediante una escala global de desempeño.^(8,53)

La evaluación basada en procedimientos (PBA), y la escala global la observación directa de habilidades de procedimiento (DOPS), han sido descritas en el Reino Unido como parte del sistema de evaluación del programa curricular quirúrgico intercolegial (ISCP). DOPS ha demostrado ser confiable y ha sido validado como una herramienta útil en la evaluación del desempeño de cirujanos durante la realización de colecistectomía laparoscópica.^(54,55)

La escala GOALS (Global Evaluative Assessment of Laparoscopic Skills), desarrollada por Vassiliou *et al.* ⁽⁵⁶⁾ consiste en un método de evaluación basado en el desempeño del cirujano durante la realización de un procedimiento laparoscópico de cualquier complejidad. (Figura 5).⁽⁵⁷⁻⁵⁹⁾ Escala utilizada por los autores para la evaluación de la curva de aprendizaje necesaria para adquirir las destrezas para realizar sutura y anudado laparoscópico.⁽⁶⁰⁾

Algunas modificaciones de la escala GOALS se han descrito para evaluación de procedimientos específicos como el caso de GOALS-IH para la cura operatoria de hernia incisional.⁽⁶¹⁾ De igual manera surge la escala GEARS (Global Evaluative Assessment of Robotic Skills) para evaluación de desempeño en cirugía robótica, validada en el año 2015 en el programa de cirugía robótica del Hospital Universitario de Caracas.⁽⁶²⁾

En la búsqueda de alternativas de mayor objetividad, la tendencia mundial durante los últimos años ha sido dirigir la atención hacia el estudio de patrones de movimientos al momento de realizar determinada tarea o procedimiento.

Análisis del movimiento para evaluación del desempeño

Se ha demostrado que las destrezas psicomotoras se pueden determinar mediante el análisis del movimiento de los instrumentos, siendo este un eficiente y objetivo método de evaluación;⁽⁶³⁻⁶⁷⁾ esto se puede hacer con distintos sistemas de rastreo de posiciones como dispositivos electromagnéticos, mecánicos, acústicos y ópticos.⁽⁶⁸⁾

Según la revisión de Chmarra *et al.* ⁽⁶⁹⁾ al menos dieciséis equipos se han desarrollado a nivel mundial con este fin durante

Percepción de Profundidad				
1	2	3	4	5
Constantemente sobrepasa el objetivo, movimientos amplios, corrige lentamente		Algunas fallas en la toma del objetivo, pero corrige rápidamente		Dirige los instrumentos en el plano correcto hacia el objetivo

Destreza Bimanual				
1	2	3	4	5
Usa solo una mano, ignora la mano no dominante, pobre coordinación entre ambas		Usa ambas manos, pero la interacción entre ambas no es óptima.		Usa ambas manos de manera complementaria para una óptima exposición

Eficiencia				
1	2	3	4	5
Muchos movimientos tentativos, cambios frecuentes en el paso a realizar, no progresa		Movimientos lentos, pero organizados y razonables		Confiado, eficiente, se mantiene enfocado en el objetivo.

Manejo de los tejidos				
1	2	3	4	5
Movimientos bruscos, desgarrar el tejido, daño a las estructuras. Pobre control		Manejo razonable de los tejidos, ocurre daño menor.		Manejo adecuado de los tejidos, tracción apropiada de los mismos.

Autonomía				
1	2	3	4	5
Incapaz de terminar el procedimiento		Es capaz de terminar la tarea de maneja segura, con algo de guía por tutor.		Capaz de completar la tarea por sí solo, sin guía.

Figura 5. Escala GOALS (Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills)

la última década. Datta *et al.*,⁽⁷⁰⁾ desarrollaron un instrumento de detección de movimientos conocido como ICSAD (Imperial College Surgical Assesment Device). El trazado producto del cambio de posición de los instrumentos se ha llamado “firma del movimiento” y permite establecer una clara diferencia entre individuos con diferente nivel de experiencia.

Una aproximación similar al tema fue realizada por Rosen *et al.*⁽⁶⁵⁾ con el diseño de una unidad electromecánica conocida como el “Dragón Azul”, que permite medir los movimientos realizados por las manos, y su sucesor “Dragón Rojo”, dispositivo que permite además medir la fuerza que es aplicada en los instrumentos.^(65,71)

Otros dispositivos mecánicos utilizan poleas a nivel del puerto de trabajo, que permiten registrar y grabar el movimiento del instrumento en varios ejes, ejemplos de estos son el Laparoscopic Surgical Workstation y Virtual Laparoscopic Interface (Immersion Inc.), así como, el Advanced Dundee Endoscopic Psychomotor Tester (ADEPT), todos estos son instrumentos relativamente sencillos cuando se comparan con otros sistemas de rastreo, pero con el inconveniente que no se pueden aplicar en cirugías *in vivo*.⁽⁶⁹⁾

Sokollik⁽⁷²⁾, demostró la utilidad de un dispositivo basado en ultrasonido (Zebis Medical Inc), en la evaluación de habilidades en CMI y su capacidad para distinguir entre individuos novatos y expertos.

Cristancho⁽⁷³⁾, ha descrito su experiencia con el uso de sistemas electromagnéticos, y enfatiza la importancia del estudio del movimiento como un parámetro objetivo y práctico a la hora de determinar la competencia. Así mismo, Yamaguchi⁽⁷⁴⁾ propone el uso de sensores en la punta del instrumento y recalca la importancia de la evaluación de habilidades psicomotoras mediante detección de movimientos a la hora de realizar tareas

complejas como suturas y anudado intracorpóreo.

El ProMIS® (Haptica Inc.) es un simulador híbrido con escenarios de realidad aumentada, con un sistema de evaluación que se basa en el estudio de la trayectoria de instrumentos, evaluando parámetros como tiempo, longitud de la trayectoria del instrumento y sutileza del movimiento. El sistema se encuentra comercialmente disponible pero su tamaño y elevado costo lo hacen poco versátil.⁽⁷⁵⁾

El análisis de videos, es una alternativa para determinar la trayectoria de los instrumentos y de esta manera la calidad de los movimientos realizados, sin interferir con el procedimiento. Sin embargo, involucran complejos sistemas de grabación y análisis de imagen, aún no estandarizados y de poca disponibilidad.⁽⁷⁶⁻⁷⁸⁾

En definitiva, se han utilizado múltiples dispositivos de rastreo en un intento por darle objetividad a la evaluación de destrezas psicomotoras en CMI. Sin embargo, resultan costosos, lo cual constituye una gran limitante a la hora de su aplicación en nuestro medio. Debido a lo descrito, se ha estudiado el uso de dispositivos de alta disponibilidad que permiten determinar la aceleración como un parámetro relacionado con la calidad del movimiento.

El uso de la aceleración como parámetro de evaluación objetiva del desempeño de los cirujanos al momento de realizar una tarea ha sido previamente propuesto por algunos autores. Cotin *et al.*⁽⁷⁹⁾, utilizando un programa adaptado al Virtual Laparoscopic Interface (Immersion Inc), plantearon el estudio de la aceleración y su relación con la sutileza del movimiento. De igual manera Cavallo *et al.*,⁽⁸⁰⁾ en su análisis del sistema LapSim® proponen el uso de la aceleración máxima durante la realización de una tarea, siendo está significativamente más baja en los expertos al compararlos con novatos.

Partridge *et al.*⁽⁸¹⁾ desarrollaron un sistema de evaluación basado en el uso del dispositivo LEAP Motion Controller® para determinar parámetros como velocidad y aceleración promedio. Sin embargo, el sistema demostró tener grandes limitaciones, ya que fue diseñado para el seguimiento de manos abiertas con los dedos separados, por lo tanto, el tomar el instrumento con la mano cerrada impide al sistema un registro óptimo y produce pérdida intermitentemente el seguimiento.

Hwang *et al.*⁽⁸²⁾, utilizando un dispositivo con tecnología mixta de seguimiento óptico (IR) y electromagnético, demostraron que los novatos realizan movimientos con mayor aceleración que los expertos. Su inconveniente radica en la complejidad del sistema, lo cual lo hace muy poco versátil.

Oropesa *et al.*⁽⁷⁸⁾ reportan validez constructiva para la aceleración promedio, comparan novatos y expertos mediante el uso del complejo método EVA de seguimiento de instrumentos basado en el análisis de videos.

Los autores reportaron en el año 2014 el uso de herramientas de fácil accesibilidad (dispositivo iPhone 6® de Apple Inc.) para el análisis de variables como aceleración promedio y aceleración máxima, permitiendo una aproximación a la calidad de los movimientos realizados por el cirujano durante la realización de una tarea determinada; demostrando así su capacidad para

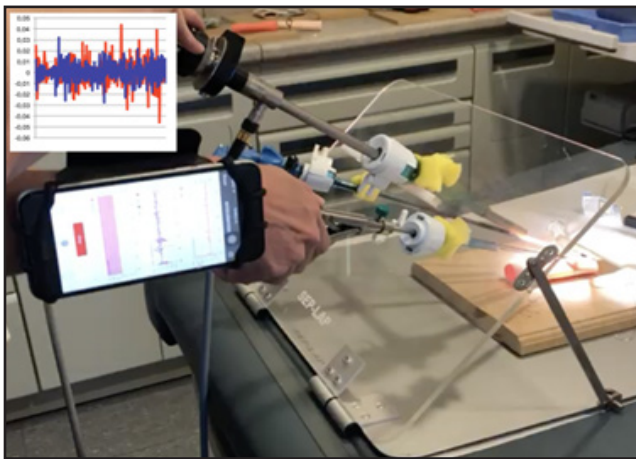


Figura 6. Modelo con acelerómetros de dispositivo iPhone 6® de Apple Inc.⁽⁸³⁾

diferenciar individuos con distinto nivel de entrenamiento.⁽⁸³⁾ (Figura 6)

En cirugía robótica normalmente el número de procedimientos realizados o las horas de consola se utilizaban para medir la experiencia del cirujano, sin embargo, no existe evidencia que indique que esto sea un indicador objetivo del nivel de competencia del cirujano; por lo que el análisis del movimiento se ha utilizado también para determinar la eficiencia en cirugía robótica.⁽⁸⁴⁾

Hung et al⁽⁸⁵⁾ y Oh *et al.*⁽⁸⁶⁾ estudian y validan método de evaluación del desempeño del cirujano usando grabadora novedosa “dvLogger” la cual permite registrar variables como el seguimiento del instrumento y datos de eventos directamente en

el sistema quirúrgico DaVinci®; realizando una medición objetiva de los movimientos del cirujano durante pasos preseleccionados de la prostatectomía radical robótica. Describieron una asociación limitada de los resultados de la medición objetiva mediante este método en comparación con el estándar de oro de evaluación global de habilidades robóticas (GEARS) por cirujanos expertos, insistiendo en la necesidad del desarrollo de métodos de medición estandarizados para la formación y evaluación de cirujanos.⁽⁸⁵⁾

Estudios han demostrado incluso relación entre el análisis de movimiento y la evolución postoperatoria del paciente.⁽⁸⁷⁾

De acuerdo a lo descrito, los patrones de movimiento y la aceleración, parece ser relevante como método de evaluación, al estar relacionada con la calidad del movimiento al momento de realizar una tarea en cirugía laparoscópica.

La cuantificación objetiva de las habilidades quirúrgicas es cada vez más necesaria para ingresar en el medio quirúrgico, a medida que la literatura avanza aumenta la presión en los educadores quirúrgicos y los organismos de acreditación quienes deben incluir un método estandarizado de medición de las destrezas y habilidades a lo largo de la carrera del cirujano.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

A.S desarrolló la idea y condujo la búsqueda de la bibliografía, O.R y R.S contribuyeron en la discusión, búsqueda bibliográfica y análisis del trabajo. A.S y C.I realizaron la redacción del manuscrito. Todos los autores aportaron críticas previo al envío y aprobaron el informe final.

APROBACIÓN ÉTICA

Este artículo no contiene ningún estudio con participantes humanos o animales realizado por ninguno de los autores.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

REFERENCIAS

1. Guller U, Hervey S, Purves H, Muhlbaier LH, Peterson ED, Eubanks S, *et al.* Laparoscopic Versus Open Appendectomy Outcomes Comparison Based on a Large Administrative Database. *Ann Surg.* 2004; 239:43–52. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14685099/>
2. Périssat J, Collet D, Belliard R, Desplantez J, Magne E. Laparoscopic cholecystectomy: the state of the art. A report on 700 consecutive cases. *World J Surg.* 1992 Nov;16(6):1074–82. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1455876/>
3. Aggarwal R, Moorthy K, Darzi A. Laparoscopic skills training and assessment. *Br J Surg.* 2004 Nov 17;91(12):1549–58. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15547882/>
4. Fraser SA, Klassen DR, Feldman LS, Ghitulescu GA, Stanbridge D, Fried GM. Evaluating laparoscopic skills. *Surg Endosc.* 2003 Jun 1;17(6):964–7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12658417/>
5. Smith CD, Farrell TM, McNatt SS, Metreveli RE. Assessing laparoscopic manipulative skills. *Am J Surg.* 2001 Jun;181(6):547–50. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1155876/>

- pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11513783/
6. Peters JH, Fried GM, Swanstrom LL, Soper NJ, Sillin LF, Schirmer B, *et al.* Development and validation of a comprehensive program of education and assessment of the basic fundamentals of laparoscopic surgery. *Surgery*. 2004 Jan;135(1):21–7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14694297/>
 7. Figert PL, Park AE, Witzke DB, Schwartz RW. Transfer of Training in Acquiring Laparoscopic Skills. *J Am Coll Surg*. 2001 Nov;193(5):533–7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11708511/>
 8. Tsuda S, Scott D, Doyle J, Jones DB. Surgical Skills Training and Simulation. *Curr Prob Surg*. 2009 Apr;46(4):271–370. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19249439/>
 9. Roberts KE, Bell R, Duffy A. Evolution of surgical skills training. *World J Gastroenterol*. 2006;12(20):3219. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16718842/>
 10. Bridges M, Diamond DL. The financial impact of teaching surgical residents in the operating room. *Am J Surg*. 1999 Jan;177(1):28–32. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10037304/>
 11. Kohn K, Corrigan J, Donaldson M. *To Err Is Human: building a safer health system*. Washington, D.C.: National Academies Press; 1999. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25077248/>
 12. Scott DJ, Young WN, Tesfay ST, Frawley WH, Rege R v, Jones DB. Laparoscopic skills training. *Am J Surg*. 2001 Aug;182(2):137–42. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11574084/>
 13. Figert PL, Park AE, Witzke DB, Schwartz RW. Transfer of Training in Acquiring Laparoscopic Skills. *J Am Coll Surg*. 2001 Nov;193(5):533–7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11708511/>
 14. Reznick RK, MacRae H. Teaching Surgical Skills — Changes in the Wind. *N Engl J Med*. 2006 Dec 21;355(25):2664–9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17182991/>
 15. Gallagher AG, Ritter EM, Champion H, Higgins G, Fried MP, Moses G, *et al.* Virtual Reality Simulation for the Operating Room. *Ann Surg*. 2005 Feb;241(2):364–72. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15650649/>
 16. Sachdeva AK, Buyske J, Dunnington GL, Sanfey HA, Mellinger JD, Scott DJ, *et al.* A New Paradigm for Surgical Procedural Training. *Curr Probl Surg*. 2011 Dec;48(12):854–968. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22078788/>
 17. Badash I, Burt K, Solorzano CA, Carey JN. Innovations in surgery simulation: a review of past, current and future techniques. *Ann Transl Med*. 2016 Dec;4(23):453–453. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28090509/>
 18. Torkington J, Smith SGT, Rees BI, Darzi A. Skill transfer from virtual reality to a real laparoscopic task. *Surg Endosc*. 2001 Oct 15;15(10):1076–9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11727073/>
 19. Hyltander A, Liljegren E, Rhodin PH, Lönröth H. The transfer of basic skills learned in a laparoscopic simulator to the operating room. *Surg Endosc*. 2002 Sep 1;16(9):1324–8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11988802/>
 20. Korndorffer JR, Dunne JB, Sierra R, Stefanidis D, Touchard CL, Scott DJ. Simulator Training for Laparoscopic Suturing Using Performance Goals Translates to the Operating Room. *J Am Coll Surg*. 2005 Jul;201(1):23–9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15978440/>
 21. Sturm LP, Windsor JA, Cosman PH, Cregan P, Hewett PJ, Maddern GJ. A Systematic Review of Skills Transfer After Surgical Simulation Training. *Ann Surg*. 2008 Aug;248(2):166–79. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18650625/>
 22. Peters JH, Fried GM, Swanstrom LL, Soper NJ, Sillin LF, Schirmer B, *et al.* Development and validation of a comprehensive program of education and assessment of the basic fundamentals of laparoscopic surgery. *Surgery*. 2004 Jan;135(1):21–7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14694297/>
 23. Fried GM, Feldman LS, Vassiliou MC, Fraser SA, Stanbridge D, Ghitulescu G, *et al.* Proving the Value of Simulation in Laparoscopic Surgery. *Ann Surg*. 2004 Sep;240(3):518–28. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15319723/>
 24. Rodríguez O 2012; 65(1):1–5. Pedrón C, Sánchez A, Pena R, Rosciano J. Apendicectomía laparoscópica mediante abordaje por una sola incisión. Modelo de entrenamiento para adquisición de habilidades. *Rev Venez Cir*. 2012;65(1):1–5. <https://www.revistavenezolanadecirugia.com/index.php/revista/article/view/157>
 25. Rodríguez O, Sanchez-Ismayel A, Sanchez R, Pena R, Salamo O. Construct Validity of an Inanimate Training Model for Laparoscopic Appendectomy. *JLS*. 2013;17(3):445–9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24018084/>
 26. Sánchez A, Otaño N, Rodríguez O, Sánchez R, Benítez G, Schweitzer M. Laparoscopic Common Bile Duct Exploration Four-Task Training Model: Construct Validity. *JLS*. 2012;16(1):10–5. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22906323/>
 27. Sánchez A, Rodríguez O, Benítez G, Sánchez R, de la Fuente L. Development of a Training Model for Laparoscopic Common Bile Duct Exploration. *JLS*. 2010;14(1):41–7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20529526/>
 28. Sánchez A, Rodríguez O, Davila H, Valero R, Benítez G, Sánchez R, *et al.* Robot-assisted laparoscopic common bile duct exploration: case report and proposed training model. *J Robot Surg*. 2011. Jun 30;5(2):145–8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27637543/>
 29. Sánchez A, Rodríguez O, Sánchez R, Benítez G, Pena R. Impacto de la práctica en un modelo de entrenamiento en la adquisición de habilidades para la exploración laparoscópica de la vía biliar. *Rev Venez Cir*. 2010;63(3):121–7. <https://www.revistavenezolanadecirugia.com/index.php/revista/article/view/175>
 30. Sánchez R, Palmer K, Dávila H, Sánchez A, Miquilarena R. Autoaumentación vesical por laparoscopia. Modelo experimental en conejos (*oryctolagus cuniculus*). *Actas Urol Esp*. 2008 Jan;32(7):722–6. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18788489/>
 31. Inchausti C, Cantele H, Vassallo M, Villegas I, Sánchez A, Méndez A. Programa de entrenamiento para la cirugía laparoscópica de acalasia en modelos inertes y orgánicos. Estudio Observacional. *Rev Venez Cir*. 2022;75(1):05–9. <https://www.revistavenezolanadecirugia.com/index.php/revista/article/view/441>
 32. Valero RJ, Moanack J, Cruz G, Sánchez-Ismayel A, Sánchez-Salas R, García-Seguí A. Modelo animal de entrenamiento en pieloplastia laparoscópica. *Actas Urol Esp*. 2012 Jan;36(1):54–9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22032893/>
 33. Sosa E, Rodríguez O, Rosciano J, Medina L, Baez V. Colectomía laparoscópica por un solo puerto. *Rev Venez Cir*. 2013;66(1):1–5. <https://www.revistavenezolanadecirugia.com/index.php/revista/article/view/258>
 34. Maithe S, Sierra R, Korndorffer J, Neumann P, Dawson S, Callery M, *et al.* Construct and face validity of MIST-VR, Endotower, and CELTS. *Surg Endosc*. 2006 Jan 7;20(1):104–12. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16333535/>
 35. McDougall EM, Corica FA, Boker JR, Sala LG, Stolar G, Borin JF, *et al.* Construct Validity Testing of a Laparoscopic Surgical Simulator. *J Am Coll Surg*. 2006 May;202(5):779–87. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16648018/>
 36. van Dongen K, Tournooij E, van der Zee D, Schijven M, Broeders I. Construct validity of the LapSim: Can the LapSim virtual reality simulator distinguish between novices and experts? *Surg*

- Endosc. 2007 Aug 9;21(8):1413-7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17294307/>
37. Salas E, Sánchez A, Rodríguez O, Benítez G. Entrenamiento en cirugía mínimamente invasiva: Validación del sistema virtual Quiro. *Rev Venez Cir.* 2016;69(1):1-10. <https://www.revistavenezolanadecirugia.com/index.php/revista/article/view/55>
 38. Rubin A, Vassallo M. Modelo inorgánico de simulación de gastrostomía laparoscópica con impresión 3D, para adquirir habilidades en sutura intracorpórea. Estudio cuasi-experimental. *Rev Venez Cir.* 2021;74(2):32-8. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2022/05/1369680/419-manuscrito-1767-3-10-20220121.pdf>
 39. Olivieri LJ, Su L, Hynes CF, Krieger A, Alfares FA, Ramakrishnan K, *et al.* "Just-In-Time" Simulation Training Using 3-D Printed Cardiac Models After Congenital Cardiac Surgery. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2016 Mar 8;7(2):164-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26957398/>
 40. Anderson JR, Thompson WL, Alkattan AK, Diaz O, Klucznik R, Zhang YJ, *et al.* Three-dimensional printing of anatomically accurate, patient specific intracranial aneurysm models. *J Neurointerv Surg.* 2016 May;8(5):517-20. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25862767/>
 41. Rashid P. Surgical education and adult learning: Integrating theory into practice. *F1000Res.* 2017 Feb 14; 6:143. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28357046/>
 42. Taylor D, Hamdy H. Adult learning theories: Implications for learning and teaching in medical education: AMEE Guide No. 83. *Med Teach.* 2013 Nov 4;35(11):e1561-72. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24004029/>
 43. Clapper T. Beyond Knowles: What those conducting simulation need to know about adult learning theory. *Clinical Simulation in Nursing.* 2010;6(1):7-14. <https://www.mitemmc.org/uploads/Beyond-Knowles.pdf>
 44. Ericsson K, Prietula M, Cokely E. The making of an expert. *Harv Bus Rev.* 85(7-8):114-21, 193. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17642130/>
 45. Gauger P, Hauge L, Andreatta P, Hamstra S, Hillard M, Arble E, *et al.* Laparoscopic simulation training with proficiency targets improves practice and performance of novice surgeons. *Am J Surg.* 2010 Jan;199(1):72-80. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20103069/>
 46. Aggarwal R, Grantcharov T, Moorthy K, Milland T, Papasavas P, Dosis A, *et al.* An Evaluation of the Feasibility, Validity, and Reliability of Laparoscopic Skills Assessment in the Operating Room. *Ann Surg.* 2007 Jun;245(6):992-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17522527/>
 47. Mason J, Ansell J, Warren N, Torkington J. Is motion analysis a valid tool for assessing laparoscopic skill? *Surg Endosc.* 2013 May 12;27(5):1468-77. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23233011/>
 48. Smith S, Torkington J, Brown T, Taffinder N, Darzi A. Motion analysis. *Surg Endosc.* 2002 Apr 17;16(4):640-5. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11972205/>
 49. Szalay D, MacRae H, Regehr G, Reznick R. Using operative outcome to assess technical skill. *Am J Surg.* 2000 Sep;180(3):234-7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11084137/>
 50. McCluney AL, Vassiliou MC, Kaneva PA, Cao J, Stanbridge DD, Feldman LS, *et al.* FLS simulator performance predicts intraoperative laparoscopic skill. *Surg Endosc.* 2007 Oct 18;21(11):1991-5. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17593434/>
 51. Zheng B, Hur HC, Johnson S, Swanström LL. Validity of using Fundamentals of Laparoscopic Surgery (FLS) program to assess laparoscopic competence for gynecologists. *Surg Endosc.* 2010 Jan 11;24(1):152-60. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19517182/>
 52. Vassiliou MC, Dunkin BJ, Marks JM, Fried GM. FLS and FES: Comprehensive Models of Training and Assessment. *Surg Clin North Am.* 2010 Jun;90(3):535-58. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20497825/>
 53. Martin JA, Regehr G, Reznick R, Macrae H, Murnaghan J, Hutchison C, *et al.* Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. *Br J Surg.* 1997 Feb;84(2):273-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9052454/>
 54. Sarker SK, Maciocco M, Zaman A, Kumar I. Operative performance in laparoscopic cholecystectomy using the Procedural-Based Assessment tool. *Am J Surg.* 2010 Sep;200(3):334-40. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20573336/>
 55. Memon MA, Brigden D, Subramanya MS, Memon B. Assessing the Surgeon's Technical Skills: Analysis of the Available Tools. *Acad Med.* 2010 May;85(5):869-80. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20520044/>
 56. Vassiliou M, Feldman L, Andrew C, Bergman S, Leffondré K, Stanbridge D, *et al.* A global assessment tool for evaluation of intraoperative laparoscopic skills. *Am J Surg.* 2005 Jul;190(1):107-13. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15972181/>
 57. Malik A, Naeem A, Toor A, Bhatti S, Mansoor R, Mazhar A, *et al.* Validation and reliability of Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills for surgical residents and consultants. *J Pak Med Assoc.* 2016 Jan;66(1):18-21. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26712173/>
 58. Hogle NJ, Liu Y, Ogden RT, Fowler DL. Evaluation of surgical fellows' laparoscopic performance using Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills (GOALS). *Surg Endosc.* 2014 Apr 11;28(4):1284-90. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24414454/>
 59. Kramp K, van Det M, Hoff C, Lamme B, Veeger N, Pierie J. Validity and Reliability of Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills (GOALS) in Novice Trainees Performing a Laparoscopic Cholecystectomy. *J Surg Educ.* 2015 Mar;72(2):351-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25441259/>
 60. Vegas L, Sánchez A, Rodríguez O, Sánchez R, Medina L, Dávila H. Sutura y anudado laparoscópico asistido por robot: estudio comparativo de la curva de aprendizaje. *VITAE.* 2013;56. https://vita.ucv.ve/index_pdf.php?module=articulo_pdf&n=4863&rv=109
 61. Vaillancourt M, Ghaderi I, Kaneva P, Vassiliou M, Kolozsvari N, George I, *et al.* GOALS-Incisional Hernia: A Valid Assessment of Simulated Laparoscopic Incisional Hernia Repair. *Surg Innov.* 2011 Mar 7;18(1):48-54. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21216811/>
 62. Sánchez R, Rodríguez O, Rosciano J, Vegas L, Bond V, Rojas A, *et al.* Robotic surgery training: construct validity of Global Evaluative Assessment of Robotic Skills (GEARS). *J Robot Surg.* 2016 Sep 2;10(3):227-31. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27039189/>
 63. Hiemstra E, Chmarra MK, Dankelman J, Jansen FW. Intracorporeal Suturing: Economy of Instrument Movements Using a Box Trainer Model. *J Minim Invasive Gynecol.* 2011 Jul;18(4):494-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21777839/>
 64. Richards C, Rosen J, Hannaford B, Pellegrini C, Sinanan M. Skills evaluation in minimally invasive surgery using force/torque signatures. *Surg Endosc.* 2000 Sep 9;14(9):791-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11000356/>
 65. Rosen J, Brown JD, Barreca M, Chang L, Hannaford B, Sinanan M. The Blue DRAGON—a system for monitoring the kinematics and the dynamics of endoscopic tools in minimally invasive surgery for objective laparoscopic skill assessment. *Stud Health Technol Inform.* 2002;85:412-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15458124/>
 66. Justo J. Sistemas de evaluación de destreza en cirugía endoscópica.

- Rev Mex Cir Endoscop. 2007;8(2):90–6. <https://www.medigraphic.com/pdfs/endosco/ce-2007/ce072h.pdf>
67. Fried GM, Feldman LS. Objective Assessment of Technical Performance. *World J Surg.* 2008 Feb 12;32(2):156–60. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17562106/>
 68. Reiley C, Lin H, Yuh D, Hager G. Review of methods for objective surgical skill evaluation. *Surg Endosc.* 2011 Feb 7;25(2):356–66. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20607563/>
 69. Chmarra M, Grimbergen C, Dankelman J. Systems for tracking minimally invasive surgical instruments. *Minim Invasive Ther Allied Technol.* 2007 Jan 10;16(6):328–40. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17943607/>
 70. Datta V, Mackay S, Mandalia M, Darzi A. The Use of Electromagnetic Motion Tracking Analysis to Objectively Measure Open Surgical Skill in The Laboratory-Based Model. *J Am Coll Surg.* 2001 Nov;193(5):479–85. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11708503/>
 71. Gunther S, Rosen J, Hannaford B, Sinanan M. The red DRAGON: a multi-modality system for simulation and training in minimally invasive surgery. *Stud Health Technol Inform.* 2007;125:149–54. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17377255/>
 72. Sokollik C, Gross J, Buess G. New model for skills assessment and training progress in minimally invasive surgery. *Surg Endosc.* 2004 Mar 1;18(3):495–500. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14752637/>
 73. Cristancho SM, Hodgson AJ, Panton ONM, Meneghetti A, Warnock G, Qayumi K. Intraoperative monitoring of laparoscopic skill development based on quantitative measures. *Surg Endosc.* 2009 Oct 31;23(10):2181–90. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19116747/>
 74. Yamaguchi S, Yoshida D, Kenmotsu H, Yasunaga T, Konishi K, Ieiri S, *et al.* Objective assessment of laparoscopic suturing skills using a motion-tracking system. *Surg Endosc.* 2011 Mar 12;25(3):771–5. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21072671/>
 75. van Sickle KR, III DAM, Gallagher AG, Smith CD. Construct validation of the ProMIS simulator using a novel laparoscopic suturing task. *Surg Endosc.* 2005 Sep 21;19(9):1227–31. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16025195/>
 76. Cano A, Lamata P, Gayá F, Gómez E. New methods for video-based tracking of laparoscopic tools. . In: *Biomedical Simulation.* Berlin, Alemania: Springer-Berlin-Heidelberg; 2006. p. 142–9.
 77. Allen BF, Kasper F, Nataneli G, Dutson E, Faloutsos P. Visual tracking of laparoscopic instruments in standard training environments. *Stud Health Technol Inform.* 2011;163:11–7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21335750/>
 78. Oropesa I, Sánchez-González P, Chmarra MK, Lamata P, Fernández Á, Sánchez-Margallo JA, *et al.* EVA: Laparoscopic Instrument Tracking Based on Endoscopic Video Analysis for Psychomotor Skills Assessment. *Surg Endosc.* 2013 Mar 6;27(3):1029–39. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23052495/>
 79. Cotin S, Stylopoulos N, Ottensmeyer M, Neumann P, Rattner D. Metrics for Laparoscopic Skills Trainers: the Weakest Link. En: Dohit, Kikinis R. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2002. Lecture Notes in Computer Science,* 2488. Springer- Berlin-Heidelberg.
 80. Cavallo F, Megali G, Sinigaglia S, Tonet O, Dario P. A biomechanical analysis of surgeon's gesture in a laparoscopic virtual scenario. *Stud Health Technol Inform.* 2006;119:79–84. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16404019/>
 81. Partridge RW, Brown FS, Brennan PM, Hennessey IAM, Hughes MA. The LEAP TM Gesture Interface Device and Take-Home Laparoscopic Simulators. *Surg Innov.* 2016 Feb 14;23(1):70–7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26178693/>
 82. Hwang H, Lim J, Kinnaird C, Nagy AG, Panton ONM, Hodgson AJ, *et al.* Correlating motor performance with surgical error in laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc.* 2006 Apr 26;20(4):651–5. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16391955/>
 83. Sánchez A, Rodríguez O, Sánchez R, Benítez G, Pena R, Salamo O, *et al.* Laparoscopic Surgery Skills Evaluation: Analysis Based on Accelerometers. *JSLS* 2014 Oct-Dec; 18(4): e2014.00234. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25489218/>
 84. Hung A, Ma R, Cen S, Nguyen J, Lei X, Wagner C. Surgeon Automated Performance Metrics as Predictors of Early Urinary Continence Recovery After Robotic Radical Prostatectomy—A Prospective Bi-institutional Study. *Eur Urol Open Sci.* 2021 May 1;27:65–72. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33959725/>
 85. Hung AJ, Chen J, Jarc A, Hatcher D, Djaladat H, Gill IS. Development and Validation of Objective Performance Metrics for Robot-Assisted Radical Prostatectomy: A Pilot Study. *J Urol.* 2018 Jan;199(1):296–304. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28765067/>
 86. Oh PJ, Chen J, Hatcher D, Djaladat H, Hung AJ. Crowdsourced versus expert evaluations of the vesico-urethral anastomosis in the robotic radical prostatectomy: is one superior at discriminating differences in automated performance metrics? *J Robot Surg.* 2018 Dec 30;12(4):705–11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29713932/>
 87. Goldenberg MG. Evidence that surgical performance predicts clinical outcomes. *World J Urol.* 2020 Jul 29;38(7):1595–7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31256249/>