

Validación constructiva de un sistema de seguimiento óptico de instrumental laparoscópico para la evaluación de destrezas motoras

J.A. Sánchez-Margallo¹, F.M. Sánchez-Margallo², J.B. Pagador Carrasco¹, I. Oropesa García³, E.J. Gómez Aguilera³, J. Moreno del Pozo⁴

¹ Unidad de Bioingeniería y Tecnologías Sanitarias, Centro de Cirugía de Mínima Invasión Jesús Usón, Cáceres, España {jasanchez,jbpagador}@ccmijesususon.com

² Unidad de Laparoscopia, Centro de Cirugía de Mínima Invasión Jesús Usón, Cáceres, España {msanchez}@ccmijesususon.com

³ Grupo de Bioingeniería y Telemedicina, ETSI Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina, Zaragoza, España {ioropesa, egomez}@gbt.tfo.upm.es

⁴ Laboratorio de Robótica y Visión Artificial, Universidad de Extremadura, Cáceres, España {josemore}@unex.es

Resumen

En este trabajo se presenta un sistema de evaluación de destrezas quirúrgicas basado en un dispositivo de seguimiento óptico adaptado para su uso en cirugía de mínima invasión. En el estudio han participado 6 cirujanos de nivel intermedio y 4 expertos. Todos los sujetos han llevado a cabo tres repeticiones de un ejercicio de corte con la mano derecha en tejido inorgánico y tres repeticiones de sutura en tejido orgánico, ambos en un simulador físico de entrenamiento laparoscópico. Se ha llevado a cabo un estudio de validez constructiva utilizando un conjunto de parámetros de evaluación obtenidos del movimiento del instrumental. Para el ejercicio de corte, se han mostrado diferencias significativas en los parámetros de aceleración media y suavidad de los movimientos, ambos de la mano derecha. En cuanto al ejercicio de sutura, se presentan diferencias significativas para los parámetros de tiempo, distancia recorrida y velocidad media para ambas manos, así como en la aceleración media y suavidad de los movimientos de la mano izquierda. Aunque, para trabajos futuros se plantea un incremento de la muestra, incluyendo cirujanos sin experiencia, y actividades a evaluar, consideramos que el sistema presentado representa un importante paso en el desarrollo de herramientas de evaluación objetiva de habilidades quirúrgicas.

1. Introducción

La cirugía laparoscópica es una disciplina quirúrgica que presenta elevados requerimientos técnicos para el cirujano y que conlleva un importante reto en cuanto a la adquisición de las habilidades psicomotoras necesarias.

Desde el punto de vista clínico, aparte de otros muchos factores como los conocimientos teóricos y el criterio quirúrgico, los cirujanos deben adquirir un cierto nivel de habilidades técnicas para poder llevar a cabo las intervenciones quirúrgicas de una forma segura. Por consiguiente, es importante conocer el nivel de experiencia de los cirujanos en fase de formación de acuerdo a sus habilidades psicomotoras. Por esta razón, cirujanos y asociaciones (como la Accreditation Council for Graduate Medical Education, ACGME) piden herramientas de evaluación que acrediten a los cirujanos como técnicamente competentes [1,2].

Para cubrir esta necesidad se han desarrollado diversos sistemas de formación y evaluación quirúrgica que evitan poner en riesgo al paciente, favorecen su uso fuera del entorno clínico y su portabilidad, así como la objetividad y la automatización en los procesos de evaluación del cirujano. Principalmente, estos sistemas se clasifican en dos grandes grupos: sistemas virtuales y físicos [3]. Este trabajo se centra en los sistemas físicos de formación y evaluación en cirugía laparoscópica ya que proporcionan un mayor realismo tanto en el uso del instrumental como en la interacción con el entorno de trabajo [4]. Actualmente se dispone de sistemas con diversas características y aplicaciones tanto a nivel comercial como de uso académico [5,6]. Sin embargo, a día de hoy, no existe ningún sistema universalmente extendido o recomendado como herramienta objetiva de evaluación clínica.

Se ha demostrado que el análisis del movimiento del instrumental es un método efectivo para la evaluación objetiva de las habilidades psicomotoras del cirujano [7]. Para registrar esta información se han utilizado diversas tecnologías (electromagnéticas, mecánicas, ópticas) con las que llevar a cabo el seguimiento del instrumental durante la actividad de entrenamiento [8-10].

Con respecto a la literatura científica, existen numerosos parámetros que han sido utilizados para evaluar las habilidades técnicas en cirugía laparoscópica [3,11]. Para hacer uso de estas medidas de evaluación, con el fin de diferenciar entre cirujanos expertos, noveles o con experiencia intermedia, es necesario establecer cuáles de ellas son determinantes y qué tareas van a ser utilizadas como pruebas de evaluación. Por otro lado, queda la duda respecto a tener en cuenta estos parámetros de evaluación por separado o como una combinación de todos ellos. Se ha demostrado que con una única medida de evaluación no es posible determinar la competitividad del cirujano [12]. Por consiguiente, es recomendable llevar a cabo la evaluación de las habilidades psicomotoras del cirujano

con al menos dos parámetros de evaluación diferentes [11].

En este artículo se presenta un sistema de evaluación de las destrezas motoras en cirugía laparoscópica. Se han llevado a cabo una evaluación clínica del sistema para estudiar su aplicación como método de clasificación objetiva de cirujanos de nivel intermedio y experto. Este método de clasificación está basado en un conjunto de parámetros de evaluación respecto al uso del instrumental por parte del cirujano, los cuales han sido analizados durante la realización de una actividad de corte en tejido inorgánico y una sutura laparoscópica.

2. Materiales y métodos

El sistema presentado se compone principalmente de dos módulos, un simulado físico para el entrenamiento de habilidades laparoscópicas (SIMULAP®, CCMIJU; Cáceres, España) y un sistema de seguimiento y evaluación de las maniobras quirúrgicas (Figura 1).

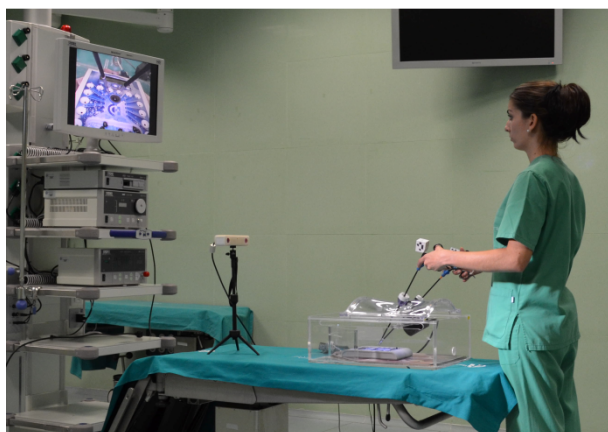


Figura 1. Vista general del sistema de formación y evaluación de destrezas quirúrgicas

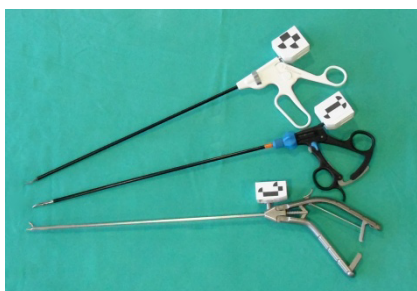


Figura 2. Diseño de las marcas artificiales de seguimiento y su localización en cada tipo de instrumental.

El sistema de seguimiento está formado por un tracker óptico de tercera generación (MicronTracker® 3Hx60; Claron Technology Inc., Toronto, CAN), el cual ha sido adaptado para su utilización con instrumental laparoscópico real. Este sistema utiliza marcas artificiales identificables en el espectro visible. Para cada instrumental utilizado (tijera, disector y portaagujas) se ha diseñado un soporte con tres marcas artificiales que ofrecen una visión frontal y lateral de cada instrumental, de modo que mejoremos el rango de localización durante su uso. Para la fabricación y localización de los soportes se ha procurado no interferir en el uso habitual de

instrumental e incrementar lo menos posible su peso (Figura 2).

Según estudios previos de evaluación técnica [13], este sistema de seguimiento de instrumental presenta un error relativo de 1.776 ± 1.675 mm, 1.817 ± 1.762 mm, 1.854 ± 1.740 mm, 2.455 ± 2.164 mm, 2.545 ± 2.496 mm, 2.764 ± 2.342 mm y 2.512 ± 2.493 mm para distancias de 50, 100, 250, 300 y 350 mm, respectivamente.

Para suavizar las posibles fluctuaciones de la señal registrada por el sistema de seguimiento se ha implementado un filtro Kalman de suavizado [14]. Se ha utilizado como parámetro de ruido de proceso (Q) un valor de 0.1 mm y un ruido de medida (R) de 0.45 mm. El ruido de medida viene dado por la suma del error de calibración del sistema (0.35 mm) y del error de fluctuación del sistema para la detección de marcas en movimiento (0.14 mm), ambos datos facilitados por el fabricante.

2.1. Evaluación clínica

En el estudio han participado 6 cirujanos de nivel intermedio (entre 1 y 50 intervenciones laparoscópicas) y 4 cirujanos expertos (con más de 50 intervenciones), todos ellos con la mano derecha como dominante. Al no existir un criterio estándar para la definición de la pericia quirúrgica, se ha tomado como criterio de clasificación el número de intervenciones quirúrgicas realizadas. Al inicio de la actividad todos los participantes en el estudio rellenaron un cuestionario sobre información demográfica y de experiencia.

Cada sujeto llevó a cabo dos tipos de tareas laparoscópicas con diferente grado de complejidad. En primer lugar, realizaron una tarea de corte con la mano derecha siguiendo un patrón de corte en una pletina de tejido inorgánico. Por otro lado, llevaron a cabo una tarea de sutura en tejido orgánico. Cada sujeto realizó la tarea de sutura siguiendo las siguientes subtarefas en orden: (1) paso de la aguja en dos fases, en primer lugar se pasa la totalidad de la aguja por la parte superior del corte y seguidamente por la inferior; (2) un anudado doble y dos anudados simples en sentidos opuestos.

Todas las condiciones del estudio fueron estandarizadas para todos los sujetos: instrumental, material de entrenamiento y características y condiciones de los ejercicios. Para el ejercicio de corte, cada sujeto disponía de un disector en la mano izquierda y una tijera en la derecha. En el ejercicio de sutura se utilizó un disector en la mano izquierda y un portaagujas curvo en la derecha. Los sujetos llevaron a cabo el seguimiento de la tarea por medio de un monitor que mostraba las imágenes obtenidas de la cámara interna del simulador.

Para cada tarea quirúrgica, cada sujeto llevó a cabo tres repeticiones de las cuales se obtuvo el valor medio de cada parámetro de evaluación tanto para la mano izquierda (MI) como para la derecha (MD). En la Tabla 1 se muestran los parámetros calculados para cada tarea, así como su definición.

Métrica	Definición	Valor
Tiempo (s)	Tiempo en realizar la tarea	$T = t_f - t_0$
Distancia recorrida (mm)	Distancia recorrida por la punta del instrumental	$\int_{t=0}^T \sqrt{\left(\frac{d\vec{r}(t)}{dt}\right)^2} dt$
Velocidad (mm/s)	Variación de la posición del instrumental con respecto al tiempo	$\frac{1}{T} \int_{t=0}^T \sqrt{\left(\frac{dr_x}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dr_y}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dr_z}{dt}\right)^2} dt$
Aceleración (mm/s ²)	Variación de la velocidad del instrumental con respecto al tiempo	$\frac{1}{T} \int_{t=0}^T \sqrt{\left(\frac{d^2r_x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2r_y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2r_z}{dt^2}\right)^2} dt$
Suavidad de movimientos (Jerk) (mm/s ³)	Variación de la aceleración del instrumental con respecto al tiempo	$\frac{1}{T} \int_{t=0}^T \sqrt{\left(\frac{d^3r_x}{dt^3}\right)^2 + \left(\frac{d^3r_y}{dt^3}\right)^2 + \left(\frac{d^3r_z}{dt^3}\right)^2} dt$

Tabla 1. Descripción de las métricas analizadas.

2.2. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante el software SPSS (versión 15.0, SPSS Inc, Chicago, IL). Se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para comparar las diferencias estadísticas entre ambos grupos. El valor de significancia utilizado ha sido de $p < 0.05$.

3. Resultados y discusión

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de los datos proporcionados por el módulo de seguimiento de instrumental laparoscópico para su posterior utilización en el cálculo de los parámetros de evaluación.

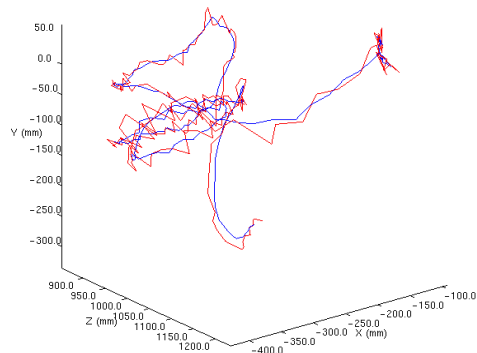


Figura 3. Ejemplo de una trayectoria registrada por el sistema de seguimiento del instrumental (rojo) y su correspondiente señal suavizada (azul).

Los resultados obtenidos de los parámetros de evaluación para la tarea de corte en tejido inorgánico se muestran en la Tabla 2. Para este ejercicio sólo se han encontrado diferencias significativas en las métricas de aceleración y suavidad de movimientos, ambas para la mano derecha. Por otro lado, la Tabla 3 muestra los resultados relativos al ejercicio de sutura laparoscópica en tejido orgánico.

Para el ejercicio de sutura podemos observar que factores como el tiempo y las distancia recorrida por ambas manos son decisivos en la diferenciación de ambos grupos de cirujanos, tal y como ha sido presentado por otros trabajos [10,15,16]. Sin embargo, en tareas más básicas como el corte en pletina, no se ha seguido esta tendencia.

Variable	Intermedio	Experto	p -valor
Tiempo	100.694	90.071	0.540
Recorrido MD	6882.157	5310.361	0.307
Recorrido MI	2826.072	2308.804	0.153
Velocidad Máx. MD	590.395	555.454	1.000
Velocidad Máx. MI	234.192	217.835	0.066
Velocidad Media MD	67.438	60.210	0.414
Velocidad Media MI	29.461	26.317	0.414
Aceleración Máx. MD	4310.732	3321.861	0.221
Aceleración Máx. MI	2108.624	1841.251	0.221
Aceleración Media MD	438.151	367.616	0.014*
Aceleración Media MI	208.622	174.130	0.221
Jerk Máx. MD	29037.365	21701.799	0.221
Jerk Máx. MI	13632.713	12761.496	0.540
Jerk Medio MD	2285.545	1913.521	0.014*
Jerk Medio MI	1191.409	1016.320	0.221

Tabla 2. Comparativa de los valores de los diferentes parámetros de evaluación durante el corte en tejido inorgánico.

Variable	Intermedio	Experto	p -valor
Tiempo	186.961	106.851	0.019*
Recorrido MD	6313.140	9567.973	0.033*
Recorrido MI	8137.030	12221.932	0.038*
Velocidad Máx. MD	507.695	955.252	0.055
Velocidad Máx. MI	533.135	979.843	0.067
Velocidad Media MD	38.223	101.252	0.019*
Velocidad Media MI	44.204	126.663	0.009*
Aceleración Máx. MD	3064.965	8425.051	0.088
Aceleración Máx. MI	3293.720	7934.736	0.066
Aceleración Media MD	226.680	716.224	0.056
Aceleración Media MI	280.594	841.981	0.009*
Jerk Máx. MD	18784.908	46731.068	0.08
Jerk Máx. MI	21586.976	48038.485	0.135
Jerk Medio MD	1219.776	4014.992	0.057
Jerk Medio MI	1493.265	4590.583	0.009*

Tabla 3. Comparativa de los valores de los diferentes parámetros de evaluación durante la sutura laparoscópica.

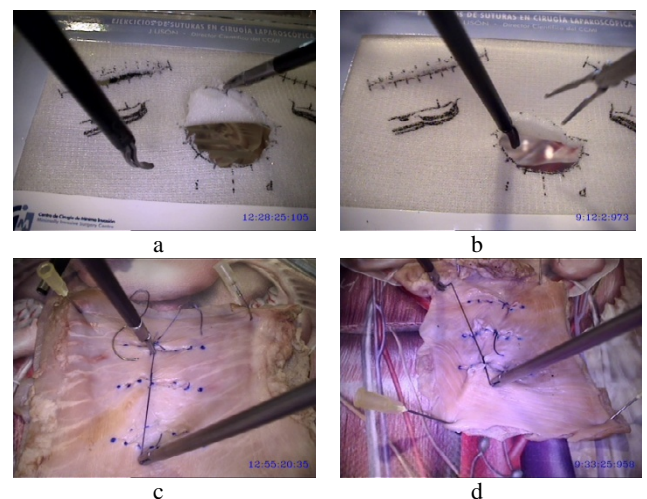


Figura 4. Comparativa de los resultados finales en los ejercicios de corte en pletina (a y b) y sutura (c y d) para dos cirujanos de nivel intermedio (a y c) y experto (b y d).

Ya que no sólo los parámetros técnicos obtenidos durante la realización de la tarea de formación debe ser el único factor a tener en cuenta para la evaluación de un cirujano,

consideramos que otro de los criterios a analizar es el resultado final obtenido, tal y como se muestra en la Figura 4. En estas imágenes podemos observar como el resultado habitual logrado por los cirujanos expertos suele ser un corte más limpio (Figura 4b) en la tarea de corte, y como los cirujanos de nivel intermedio suelen cometer algunos errores en el ejercicio de sutura, como movimientos del instrumental fuera del campo de visión o longitud del hilo inadecuado durante el anudado (Figura 4c).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, observamos que en tareas muy básicas, como es el corte en tejido inorgánico, no se presentan grandes diferencias entre los parámetros de evaluación para cirujanos de nivel experto e intermedio y, por consiguiente, no es una tarea determinante para la determinación de la pericia quirúrgica en niveles avanzados de aprendizaje. Al contrario, en tareas con una mayor complejidad, como es el caso de la sutura en tejido orgánico, presentan un mayor número de parámetros de evaluación decisivos a la hora de clasificar la destreza del cirujano. Asimismo, no se ha encontrado un parámetro decisivo que sea compartido para ambas tareas. Estas circunstancias, junto con la poca complejidad de los ejercicios nos lleva a pensar, tal y como indica Chamarra et al. [11], que una combinación de tareas podría ofrecer una clasificación de la experiencia quirúrgica de un modo más eficaz.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un sistema basado en un dispositivo óptico de seguimiento de instrumental quirúrgico para la evaluación de destrezas motoras en cirugía laparoscópica. El sistema permite diferenciar de forma objetiva entre cirujanos con experiencia intermedia y expertos durante la ejecución de una tarea de corte en tejido inorgánico y sutura en tejido orgánico. El sistema presentado representa un importante paso en el desarrollo de herramientas de evaluación objetiva de habilidades quirúrgicas en cirugía de mínima invasión. Como trabajo futuro se plantea incrementar la muestra, incluyendo sujetos sin experiencia, así como las tareas a evaluar de modo que podamos obtener una evaluación más exhaustiva y fiable del sistema.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en parte por la Consejería de Empleo, Empresa e Innovación del Gobierno de Extremadura y el Fondo Social Europeo.

Referencias

- [1] Roberts KE, Bell RL, Duffy AJ. Evolution of surgical skills training. *World J Gastroenterol*. 2006;12:3219-24.
- [2] Ritchie WP. Basic certification in surgery by the American Board of Surgery (ABS). *Ann Surg*. 2004;239:133-9.
- [3] Oropesa I, Sánchez-González P, Lamata P, Chmarra MK, Pagador JB, Sánchez-Margallo JA, et al. Methods and Tools for Objective Assessment of Psychomotor Skills in Laparoscopic Surgery. *J Surg Res*. Vol 95, 2011, pp e81-e95.
- [4] Chmarra MK, Dankelman J, van den Dobbelsteen JJ, Jansen F-W. Force feedback and basic laparoscopic skills. *Surg Endosc*. 2008;22(10):2140-8.
- [5] Leblanc F, Senagore AJ, Ellis CN, Champagne BJ, Augestad KM, Neary PC, et al. Hand-assisted laparoscopic sigmoid colectomy skills acquisition: augmented reality simulator versus human cadaver training models. *J Surg Educ*. 2010;67(4):200-4.
- [6] Hasson, HM. Simulation training in laparoscopy using a computerized physical reality simulator. *JSLs*. 2008; 22(5):1047:51.
- [7] Smith S, Torkington J, Brown T, Taffinder NJ, Darzi A. Motion analysis: A tool for assessing laparoscopic dexterity in the performance of a laboratory-based laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc*. 2001;16:640-5.
- [8] Sánchez-Margallo JA, Sánchez-Margallo FM, Pagador JB, Gómez EJ, Sánchez-González P, Usón J, et al. Video-based assistance system for training in minimally invasive surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2011;20(4):197-205.
- [9] Cano AM, Gayá F, Lamata P, Sánchez-gonzález P, Gómez EJ. Laparoscopic Tool Tracking Method for Augmented Reality Surgical Applications. *Lect Notes Comput Sci*. 2008;5104:191-6.
- [10] Pagador JB, Sánchez-Margallo FM, Sánchez-Peralta LF, Sánchez-Margallo JA, Moyano-Cuevas JL, Enciso-Sanz S, et al. Decomposition and analysis of laparoscopic suturing task using tool-motion analysis (TMA): improving the objective assessment. *Int J CARS*. 2012;7(2):305-13.
- [11] Chmarra MK, Klein S, de Winter JCF, Jansen F-W, Dankelman J. Objective classification of residents based on their psychomotor laparoscopic skills. *Surgical Endoscopy*. Vol 24, 2010 pp 1031-9.
- [12] Smith CD, Farrell TM, McNatt SS, Metreveli RE. Assessing laparoscopic manipulative skills. *American journal of surgery*. Vol 181, 2001, pp 547-50.
- [13] Sánchez-Margallo JA, Sánchez-Margallo FM, Oropesa I, Pagador JB, Lucas M, Gómez EJ, et al. Technical evaluation of a third generation optical pose tracker for motion analysis and image-guided surgery. *MICCAI 2012*. Nice, France.
- [14] Greg W, Gary B. An Introduction to the Kalman Filter. *SIGGRAPH 2001*. Los Angeles, CA.
- [15] 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*. Vol 25, 2011, pp 771-5.
- [16] Van Sickle KR, McClusky DA, Gallagher AG, Smith CD. Construct validation of the ProMIS simulator using a novel laparoscopic suturing task. *Surg Endosc*. 2005;19(9):1227-31.