

Evaluación objetiva de destrezas laparoscópicas básicas a partir de métricas obtenidas con el simulador virtual SINERGIA

LF. Sánchez-Peralta¹, FM. Sánchez-Margallo¹, JL. Moyano-Cuevas¹, JB. Pagador¹, S. Enciso-Sanz¹, P. Sánchez-González², EJ. Gómez-Aguilera², J. Usón-Gargallo¹

¹ Centro de Cirugía de Mínima Invasión Jesús Usón, Cáceres, España

{lfsanchez, msanchez, jmoyano, jbpagador, senciso, juson}@ccmijesususon.com

² Grupo de Bioingeniería y Telemedicina, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

{psanchez, egomez}@gbt.tfo.upm.es

Resumen

Las técnicas laparoscópicas se han convertido en patrón oro en muchos procedimientos quirúrgicos, pero implican un proceso de adquisición de destrezas más complejo que en el caso de la cirugía abierta. En esta fase formativa, los simuladores virtuales tienen un papel muy importante puesto que permiten evaluar de forma objetiva la ejecución de una tarea quirúrgica mediante la extracción automática de métricas. Este trabajo de investigación presenta un análisis de las métricas calculadas por el simulador virtual SINERGIA con el fin de poder llevar a cabo una evaluación objetiva de las destrezas laparoscópicas básicas.

1. Introducción

En los últimos años, la cirugía de mínima invasión (CMI) se ha implantado en la práctica quirúrgica habitual y en muchas intervenciones se ha convertido en patrón oro frente a la cirugía abierta, principalmente por los beneficios que presenta para el paciente: menor trauma tisular, menor morbilidad, menor estancia hospitalaria y una recuperación más rápida, entre otras [1-3]. Todas estas ventajas para el paciente terminan siendo también ventajas para el sistema sanitario, puesto que supone una optimización de recursos [4].

Por todos estos motivos, la CMI se ha consolidado en la práctica de las principales especialidades quirúrgicas y esto deriva en la necesidad de formar a los cirujanos en un entorno quirúrgico distinto al tradicional de la cirugía abierta. El método halstediano consistente en “*see one, do one, teach one*” debe estar acompañado de la adquisición de una serie de nuevas habilidades propias de estas técnicas quirúrgicas de CMI.

El aprendizaje de las destrezas necesarias en cirugía laparoscópica presenta una curva de aprendizaje superior a la de la cirugía abierta. Los factores que contribuyen a dificultar esta curva de aprendizaje son, entre otros [5]:

- El laparoscopio da una vista 2D en el monitor de un campo quirúrgico en 3D
- Al ser una vista 2D, se pierde la percepción de la profundidad
- No se tiene una percepción táctil directa, sino a través del instrumental quirúrgico

- El efecto “fulcrum” o de inversión de movimientos (efecto palanca), debido a usar un instrumental largo a través de un punto fijo, da lugar a movimientos poco intuitivos

El uso de simuladores quirúrgicos permite el entrenamiento de las destrezas básicas en entornos de formación seguros, fiables y reproducibles [3][6]. Estos simuladores presentan al cirujano una interfaz similar a la que encontrarán en una operación real y le permiten adquirir las habilidades básicas sin tener que recurrir a costosas pruebas con animales. Podemos clasificar los distintos tipos de simuladores en tres categorías [7]: físicos (recrean un entorno similar al real, usando materiales con propiedades mecánicas parecidas a los del cuerpo humano), híbridos (simuladores físicos a los que se les acopla un sistema de cámaras y/o sensores que permiten medir la posición del instrumental en el espacio, y de esta manera recrearlo en un entorno virtual) y virtuales (utilizan dispositivos hápticos conectados a un ordenador que simulan un entorno 3D real).

Son muchos los artículos que establecen la validez del entrenamiento en simuladores a la hora de mejorar las destrezas básicas en cirujanos noveles [8-10]. Mediante el entrenamiento, ciertas conductas, destrezas y gestos quirúrgicos pueden aprenderse y llegar a realizarse de forma automática, de tal modo que la atención que debería prestárseles se pueda dedicar a otras actividades como la toma de decisiones [8].

Para proporcionar al cirujano en fase de formación un información acerca de sus progresos, se debe llevar a cabo una evaluación de las tareas que acomete. Dicha evaluación puede ser subjetiva u objetiva y normalmente se lleva a cabo mediante métricas. La formulación de las métricas requiere dividir las tareas en sus componentes esenciales y posteriormente definir qué métricas son apropiadas para distinguir una correcta ejecución de las mismas. Los simuladores virtuales permiten obtener determinadas métricas de forma automática.

SINERGIA [11-13] es un simulador virtual diseñado para el entrenamiento de destrezas básicas de CMI (figura 1). El simulador presenta siete unidades didácticas: coordinación ojo-mano, navegación, prensión, tracción, corte, disección y sutura con uno o más ejercicios dentro de ellas. Por cada ejercicio, el simulador extrae una serie

de métricas. El objetivo de este trabajo de investigación es analizar las métricas que dicho simulador proporciona para poder llevar a cabo una evaluación objetiva de las destrezas laparoscópicas básicas.



Figura 1. Simulador virtual SINERGIA

2. Material y métodos

2.1. Participantes

En total, participaron en el estudio 20 cirujanos que se dividieron en dos grupos según la experiencia en cirugía laparoscópica del individuo. El grupo 1 estaba compuesto por 14 cirujanos noveles (12 mujeres, 2 hombres) y el grupo 2 comprendía 6 cirujanos expertos (2 mujeres, 4 hombres). La edad media de los grupos era 27 ± 5.42 años (rango 23-38 años) para los noveles y 32.17 ± 5.56 años (rango 27-39 años) para los expertos. Todos los participantes en el estudio eran diestros, a excepción de un cirujano experto que era ambidiestro. Ninguno de los cirujanos noveles tenía experiencia alguna con simuladores virtuales y de entre los expertos, sólo dos de ellos los habían utilizado previamente.

Todas las pruebas se llevaron a cabo en el Centro de Cirugía de Mínima Invasión Jesús Usón (Cáceres-España). Los expertos tenían experiencia en más de 100 casos de cirugía laparoscópica. Los cirujanos noveles habían asistido a intervenciones laparoscópicas y tenían poca experiencia en el manejo de la cámara laparoscópica. Algunos de los noveles tenían experiencia con videojuegos.

2.2. Metodología

De entre todos los ejercicios disponibles en el simulador virtual SINERGIA, se seleccionaron cinco para este estudio. El resto de ejercicios se omitieron por limitaciones de tiempo de los usuarios. Los ejercicios seleccionados fueron: 1) coordinación ojo-mano, 2) navegación, 3) navegación coordinada, 4) presión fina y 5) tracción coordinada.

Para cada uno de estos ejercicios, el simulador virtual SINERGIA automáticamente obtiene una serie de

métricas. Algunas de éstas son comunes a todos los ejercicios mientras que otras son específicas de un ejercicio concreto. La tabla 1 recoge el listado de métricas, las unidades en las que se miden y en qué ejercicio se que se calculan.

Métrica (unidad)	Ejercicios
Tiempo total (s)	1, 2, 3, 4, 5
Tiempo parcial (s)	1, 2, 3, 4, 5
Cumplimiento (%)	1, 2, 3, 4, 5
Eficiencia del instrumental izquierdo (%)	1, 2, 3, 4, 5
Eficiencia del instrumental derecho (%)	1, 4, 5
Daños al fondo (#)	1, 2, 3
Desviación del punto central (cm)	4
Prensiones fuera del area (#)	4
Prensiones con presión excesiva (#)	4
Distancia a línea ideal del instrumental izquierdo (cm)	5
Distancia a línea ideal del instrumental derecho (cm)	5
Momentos de descoordinación (#)	5

Tabla 1. Métricas calculadas por el simulador SINERGIA

Con el fin de que los participantes realizaran los ejercicios de forma adecuada, un investigador les proporcionó unas breves indicaciones sobre cada una de ellos antes de que el participante los llevara a cabo pero, en ningún caso, ninguno de ellos recibió ayuda externa para realizar los ejercicios. Cada participante realizó cada ejercicio una única vez, en el orden en el que se mencionaron previamente, de forma consecutiva y sin pausas entre ellos. Al terminar los ejercicios propuestos, a todos los participantes en el estudio se les solicitó que rellenaran un cuestionario que contenía preguntas relacionadas con la demografía, experiencia quirúrgica y experiencia con videojuegos.

2.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa SPSS (versión 15.0 para Windows, SPSS Inc., Chicago, IL). Los datos se expresan en términos de media \pm desviación estándar. Los datos de los dos grupos se compararon usando el test U de Mann-Whitney. Se consideraron diferencias significativas si $P \leq 0.05$.

3. Resultados

La tabla 2 muestra los resultados del test de Mann-Whitney para los dos grupos analizados. Se indica con * si existen diferencias significativas ($P < 0.05$). En las métricas comunes a todos los ejercicios, para al menos uno de ellos la métrica es significativa, pero en ningún caso, la misma métrica es significativa en todos los ejercicios en los que se evalúa. Las métricas que son específicas de un ejercicio presentan en todos los casos diferencias significativas.

Métrica (unidad)	Ejercicio	Noveles (n=14)	Expertos (n=6)	Valor P
Tiempo total (s)	1	75.16±9.72	61.97±11.11	0.033*
	2	104.71±10.95	97.50±12.93	0.353
	3	106.79±19.92	85.33±11.36	0.005*
	4	50.14±12.66	32.50±5.58	0.002*
	5	123.71±45.41	87.00±24.58	0.051
Tiempo parcial (s)	1	2.98±0.49	2.48±0.45	0.062
	2	7.86±0.73	7.36±0.57	0.207
	3	7.48±1.27	5.97±0.92	0.007*
	4	5.01±1.30	3.27±0.52	0.002*
	5	41.33±15.24	29.11±8.32	0.062
Cumplimiento (%)	1	75.14±8.18	85.33±8.26	0.051
	2	76.36±14.48	88.00±8.39	0.076
	3	71.64±15.83	95.50±4.93	0.007*
	4	100.00±0.00	100±0.00	1
	5	69.05±20.52	94.44±13.61	0.026*
Eficiencia del instrumental izquierdo (%)	1	36.80±11.48	46.97±10.67	0.062
	2	40.93±8.19	47.52±3.89	0.033*
	3	40.93±10.03	55.45±3.84	0.014*
	4	6.43±2.62	8.33±2.16	0.091
	5	4.31±1.03	6.61±1.42	0.002*
Eficiencia del instrumental derecho (%)	1	37.06±8.48	47.27±10.78	0.033*
	4	8.21±2.75	10.17±3.54	0.207
	5	5.10±1.66	7.11±2.22	0.062
Daños al fondo (#)	1	11.43±5.45	4.67±2.88	0.006*
	2	0.29±0.61	0.67±0.82	0.353
	3	95.36±94.01	11.33±4.46	0.002*
Desviación del punto central (cm)	4	0.06±0.01	0.04±0.01	0.003*
Prensiones fuera del área (#)	4	4.71±6.39	1.00±1.26	0.02*
Prensiones con presión excesiva (#)	4	3.00±2.08	0.00±0.00	0.002*
Distancia a línea ideal del instrumental izquierdo (cm)	5	836.93±352.73	501.33±201.78	0.02*
Distancia a línea ideal del instrumental derecho (cm)	5	748±285.64	504.67±184.19	0.041*
Momentos de descoordinación (#)	5	31.64±36.56	1.33±3.27	0.001*

Tabla 2. Métricas obtenidas para los grupos de cirujanos noveles y expertos.

4. Discusión

Los simuladores virtuales de cirugía laparoscópica son cada vez más importantes dentro del proceso formativo de los cirujanos, puesto que permiten el entrenamiento en entornos seguros y reproducibles y porque pueden extraer métricas objetivas que evalúen la ejecución de los ejercicios realizados en ellos.

Del total de métricas proporcionadas por SINERGIA, un 59.36% de ellas presenta diferencias significativas al comparar la ejecución del grupo novel con la del grupo experto. No obstante, en todos los casos, el grupo experto

consigue mejores puntuaciones que el grupo novel, es decir, menos tiempo, menos errores o más eficiencia.

Las métricas evaluadas en todos los ejercicios no presentan diferencias significativas en todos ellos. De estas, son el tiempo total y la eficiencia del instrumental izquierdo las que mejores resultados obtienen. Esto lleva a la conclusión de que una única métrica general a todos los ejercicios no es suficiente para evaluar la actividad realizada y plantea la posibilidad de extraer una puntuación global para cada ejercicio en la que intervengan las métricas correspondientes de una forma ponderada acorde a su significancia, tal y como exponen Heinrichs et al. en [14].

El *tiempo total* no presenta diferencias significativas en el ejercicio 2, lo cual puede deberse a que los cirujanos noveles tienen experiencia en el manejo de la cámara. Esta métrica tampoco es significativa para el ejercicio 4, pero puede observarse que el valor está muy cerca del umbral de 0.05, lo que nos lleva a pensar que incrementando el número de participantes en el estudio, podrían obtenerse diferencias significativas también en este ejercicio.

El *tiempo parcial* obtiene su peor resultado en el ejercicio 2, debido a la experiencia de los noveles en el manejo de la cámara. En el resto de ejercicios, o bien es significativo o bien podría lograrse la significancia incrementando la muestra en el estudio.

El *cumplimiento* está relacionado con el tiempo límite para realizar el ejercicio. En el caso del ejercicio 3, éste es demasiado elevado y por tanto ambos grupos obtienen exactamente el mismo resultado. No así para el resto de ejercicios, en los se aprecian diferencias, especialmente en el ejercicio 3.

La *eficiencia* es una métrica representativa de la distancia recorrida en la que se evita el efecto de la aletoriedad en las posiciones de los distintos elementos involucrados en la realización de los ejercicios. Para el instrumental izquierdo se obtienen diferencias más significativas que para el derecho, lo cual puede deberse a que un 95% de los participantes era diestro y por tanto refleja una habilidad mejor por parte de los expertos de usar ambas manos indistintamente.

La métrica *daños a las estructuras* discierne perfectamente en los ejercicios 1 y 3 entre los dos grupos, no así en el ejercicio 2 debido a que ambos grupos presentan experiencia en la navegación.

Las métricas específicas para cada ejercicio son todas significativas, esto pone de manifiesto que evalúan acciones o conductas que caracterizan bien cómo se ha ejecutado el ejercicio. Por tanto, a la hora de definir la puntuación global es recomendable que estén presentes.

El nivel medio obtenido por los expertos puede considerarse el nivel a adquirir por los cirujanos noveles tras el proceso formativo de habilidades básicas. Como presentan Gauger et al [10], indicarles un objetivo a conseguir a los cirujanos en formación junto con información de los logros conseguidos presenta un efecto positivo en los resultados.

Por tanto, es posible llevar a cabo una evaluación objetiva de las destrezas laparoscópicas básicas basándose en los valores de las métricas obtenidas al realizar un ejercicio en el simulador virtual SINERGIA, puesto que este es capaz de discernir entre ejecuciones de noveles y expertos.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación ha sido financiado por la Red de Trabajo Cooperativo SINERGIA (G03/135) del Ministerio de Sanidad y Consumo.

Referencias

- [1] Informe de OPTI y FENIN. El futuro de la Cirugía Mínimamente Invasiva: Tendencias tecnológicas a medio y largo plazo
- [2] Cuschieri A. Laparoscopic surgery: current status, issues and future developments. *Surgeon*, 3(3), 2005, pp125-138.
- [3] Aggarwal A, Moorthy K. and Darzi A. Laparoscopic skills training and assessment, *Br J Surg*, 91(12), 2004, pp 1549-1558.
- [4] Gómez Palacios A, Barrios B, Taibo MA, Expósito A, Gómez Zabala J, Arias S, Gutiérrez MI, Martínez MR, Iturburu I. Valor (beneficio/coste) de la cirugía laparoscópica en contraste con la abierta. Comparación de costes, *Kirurgia*, num 3, 2005.
- [5] Fowler DL. Enabling, implementing and validating training methods in laparoscopic surgery. *World J Surg*. 34, 2010, pp 621-624
- [6] Gallagher AG, Lederman AB, McGlade K, Satava RM, Smith CD. Discriminative validity of the minimally invasive surgical trainer in virtual reality (MISTVR) using criteria levels based on expert performance. *Surg Endosc*, 18, 2004, pp 660-665.
- [7] Botden SMBI, Jakimowicz JJ. What is going on in augmented reality simulation in laparoscopic surgery? *Surg Endosc* 23, 2009, pp 1693-1700
- [8] Gallagher AG, Ritter EM, Champion H, Higgins G, Fried MP, Moses G et al. Virtual reality simulation for the operating room. Proficiency-based training as a paradigm shift in surgical skills training. *Ann Surg*. 241, 2005, pp 364-372
- [9] Kanumuri P, Ganai S, Wohaibi EM, Bush RW, Grow DR, Seymour NE. Virtual Reality and Computer-Enhanced Training Devices Equally Improve Laparoscopic Surgical Skill in Novices. *JSLs*, 12(3), 2008, pp 219-226
- [10] Gauger PG, Hauge LS, Andreatta PB, Hamstra SJ, Hillard ML, Arble EP et al. Laparoscopic simulation training with proficiency targets improves practice and performance of novice surgeons. *Am J Surg*. 199, 2010, pp 72-80
- [11] Red temática de investigación cooperativa SINERGIA. SINERGIA: simulador de realidad virtual para formación en cirugía laparoscópica. Actas del XXIII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (CASEIB2005), Madrid, 2005, pp 61-64 (ISBN: 84-7402-325-4).
- [12] Lamata P, Gómez E, Sánchez-Margallo F, López Ó, Monserrat C, García V, Alberola C, Rodríguez Florido M, Ruiz J, Usón J. Sinergia laparoscopic virtual reality simulator: Didactic design and technical development. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 85(3), 2007, pp 273-283.
- [13] Sánchez-Peralta LF, Sánchez-Margallo FM, Moyano-Cuevas JL, Pagador JB, Enciso-Sanz S, Sánchez-González P, Gómez-Aguilera EJ, Usón-Gargallo U. Construct and face validity of SINERGIA laparoscopic virtual reality simulator. *Int J CARS*, 5(4), 2010, pp 307-31
- [14] Heinrichs WL, Lukoff B, Youngblood P, Dev P, Shavelson R, Hasson HM, Satava RM, McDougall EM, Wetter PA. Criterion-based training with surgical simulators: proficiency of experienced surgeons. *JSLs*, 11(3), 2007, pp 273-302