

ARTÍCULO ACEPTADO

La Evaluación de Habilidades en Cirujanos Laparoscópicos: La Inteligencia Artificial al Rescate

Naidelyn Linares-Guzmán, Oscar-Eduardo Franco-Juan, Juan Hereiva-Osorio, Rigoberto Martínez-Mendez, Rosa-María Valdovinos-Rosas y Daniel Lorias-Espinoza

Introducción

Imaginemos un futuro en el que la habilidad quirúrgica y la destreza no sean cuestiones de opinión, sino hechos cuantificables, medibles de forma precisa y sin ambigüedades. Este futuro ya está tomando forma, gracias a la convergencia de la medicina, la tecnología y en especial, la inteligencia artificial (IA). La cirugía laparoscópica, es una técnica de mínima invasión y recuperación más rápida, pero exige una destreza excepcional del cirujano (Figura 1). ¿Cómo, se podrían evaluar objetivamente estas habilidades? Es un desafío que la IA podría enfrentar y resolver.



Figura 1. Cirugía mediante la técnica de laparoscopia, que implica tiempo de recuperación más rápido y menor tamaño de cicatrices (imagen uso público tomada de <https://t.ly/2W1ju>).

Las señales electromiográficas (EMG), registros de la actividad eléctrica de los músculos, pueden ser indicadores efectivos del control que ejerce un cirujano durante una operación. Para interpretar estas señales, necesitamos técnicas sofisticadas de procesamiento de señales y, aquí es donde la IA entra en escena.

La IA, en su capacidad para procesar y analizar datos EMG, puede revelar detalles exactos sobre la eficacia y habilidad del cirujano. Esta técnica podría superar las

limitaciones de los métodos de evaluación tradicionales y proporcionar una evaluación más objetiva y precisa [1].

Cirugía laparoscópica: Un vistazo al pasado y presente

La cirugía laparoscópica, o mínimamente invasiva, tuvo sus inicios a principios del siglo XX. Sin embargo, fue hasta final de los 80, con la popularización de la colecistectomía laparoscópica, que realmente transformó la cirugía [2]. Sus beneficios son evidentes: menores incisiones, reducción en infecciones, menor dolor y recuperación más rápida. La inclusión de cámaras de laparoscopia mejoró aún más la precisión quirúrgica [3].

Si bien su uso es extensivo en múltiples disciplinas quirúrgicas, como ginecología y urología, no está exenta de desafíos. La alta coordinación y destreza exigida representa una curva de aprendizaje muy inclinada para los aprendices.

Ante esta necesidad de precisión surge la cirugía robótica, destacando el sistema DaVinci. Esta tecnología replica los movimientos del cirujano con una precisión asombrosa, reduciendo incluso temblores [4]. No obstante, la pregunta persiste: ¿Cómo formamos y evaluamos con precisión a los cirujanos? Aquí es donde nuestro artículo se centra, explorando cómo la inteligencia artificial y el procesamiento de señales EMG pueden medir la habilidad quirúrgica.

Señales EMG y de Aceleración: Herramientas para Analizar la Destreza en Cirugía

El electromiograma (EMG) es una técnica que mide la respuesta eléctrica de los músculos a la estimulación nerviosa. Estas señales pueden proporcionar información sobre la función muscular y el control neuromuscular. En medicina, el EMG es ampliamente utilizado para diagnosticar enfermedades neuromusculares, evaluar el rendimiento en rehabilitación y, recientemente en el análisis de habilidades en cirugía [5].

Los sensores EMG y de aceleración: claves para evaluar la destreza quirúrgica.

No obstante, la adquisición y el procesamiento de las señales EMG presentan desafíos. Estas señales son afectadas por artefactos de movimiento, ruido eléctrico y variaciones en la colocación del electrodo, entre otros factores. Los artefactos de movimiento son distorsiones no deseadas en los datos causadas por movimientos no intencionados, ocultando las verdaderas señales de interés. Aquí es donde las señales de aceleración entran en juego. Al combinar las señales EMG con las de aceleración, podemos discriminar mejor los artefactos de movimiento, lo que nos permite interpretar mejor los movimientos del cirujano.

Las señales de aceleración proporcionan información sobre las variaciones de velocidad con respecto al tiempo. Se adquieren usando acelerómetros, dispositivos que pueden detectar cambios dinámicos y estáticos en el movimiento. La aceleración ofrece una representación de la velocidad y la dirección del movimiento de un objeto. La aceleración es particularmente útil para identificar patrones rápidos de movimiento, cambios bruscos o sutiles vibraciones que podrían no ser evidentes solo a través de la observación directa o incluso con el análisis de señales EMG.

La idea de utilizar señales de aceleración en conjunción con EMG no es nueva. Se han utilizado juntas para mejorar la interpretación de los movimientos y la intención del usuario en diversas aplicaciones, como el control de prótesis y en deportes. Al aplicar esta idea al contexto de la cirugía, esperamos obtener una visión más clara de

las habilidades y la destreza de los cirujanos, abriendo nuevas puertas para su evaluación y entrenamiento [6].

En la Figura 2, podemos observar un ejemplo de señales de EMG y de aceleración obtenidas durante una prueba de entrenamiento de los cirujanos laparoscópicos. Estas señales, a pesar de ser aparentemente caóticas y aleatorias, pueden contener información crucial acerca de la habilidad y la eficacia del cirujano durante el procedimiento.

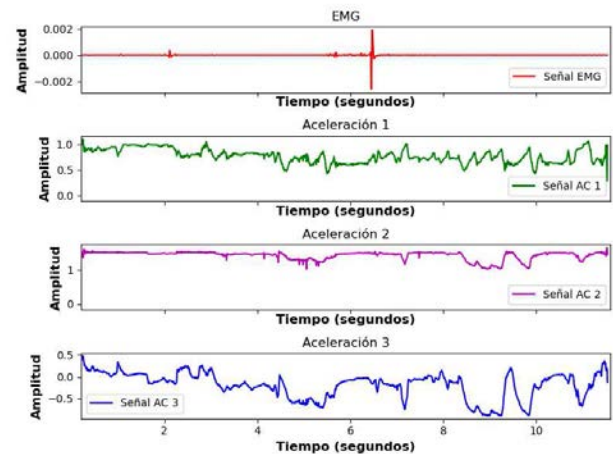


Figura 2. Señales de EMG y aceleración durante la realización de una tarea de entrenamiento laparoscópico usando el robot Da Vinci (imagen propia).

La IA podría transformar la formación de los cirujanos, llevándola a nuevas alturas.

Inteligencia Artificial en la Evaluación de Habilidades en Cirugía: Potencialidades y Desafíos

La evaluación de las habilidades en cirugía tradicionalmente es subjetiva, basada en la observación y el juicio de expertos. Sin embargo, la IA está emergiendo como una herramienta prometedora para aportar objetividad y consistencia a este proceso.

La IA tiene la capacidad de manejar y analizar grandes cantidades de datos, lo que la hace perfecta para procesar las extensas señales de EMG y aceleraciones generadas durante una intervención quirúrgica. El primer paso en este proceso es la depuración de las señales. Esto implica filtrar el ruido y los artefactos, y segmentar las señales en partes manejables.

Una vez depuradas las señales, el siguiente paso es la extracción de características. Este proceso es esencial para transformar las señales en un conjunto de características que pueden ser fácilmente manejadas por los

modelos de IA. Estas características pueden ser estadísticas simples, como la media y la desviación estándar de la señal, o medidas más complejas derivadas del análisis espectral o de la descomposición en componentes principales.

Finalmente, estos conjuntos de características se introducen en modelos de aprendizaje automático para la clasificación o la regresión, dependiendo del objetivo de la evaluación. Estos modelos pueden ser supervisados, en los que el modelo aprende a partir de ejemplos etiquetados de habilidades quirúrgicas buenas y malas, o no supervisados, donde el modelo descubre patrones y agrupa los datos sin ninguna orientación previa.

Los desafíos a superar incluyen la elección de las características correctas para extraer de las señales, la selección del modelo de IA más apropiado para el problema, y la obtención de datos de entrenamiento de alta calidad.

Casos de estudio resultados preliminares

Con el fin de explorar la aplicabilidad de la Inteligencia Artificial (IA) en la evaluación de habilidades quirúrgicas, realizamos un estudio experimental para adquirir señales durante tareas de laparoscopia. Empleamos el sistema Delsys Trigno para la adquisición de señales EMG y de aceleración. Este sistema permite la monitorización inalámbrica de la actividad muscular y el movimiento. Su portabilidad y precisión lo hacen una elección perfecta para el estudio.

En el experimento, se colocaron tres sensores Delsys Trigno en cada brazo de los participantes, específicamente en el antebrazo interno, antebrazo externo y bíceps, resultando en un total de seis sensores por sujeto, (ver Figura 3). Se seleccionaron 34 participantes de distintos perfiles, incluyendo 10 expertos en cirugía laparoscópica, 10 personal médico (cirujanos no laparoscópicos, médicos y enfermeras) y 14 personas de la población general (amas de casa, estudiantes, administrativos, etc.).

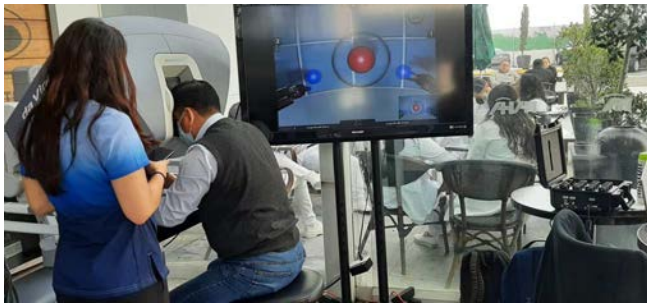


Figura 3. Participante realizando una de las pruebas con el módulo de entrenamiento del DaVinci, mientras se registran sus señales de EMG y aceleración en los brazos (imagen propia).

Los participantes realizaron tres tareas de entrenamiento laparoscópico utilizando el módulo de entrenamiento del sistema quirúrgico robótico Da Vinci. Las tareas consistieron en manipulación de instrumental laparoscópico y cámara.

Las señales recogidas durante este experimento proporcionan un gran volumen de datos, cada tarea dura aproximadamente tres minutos y cada sensor proporciona una señal EMG y tres señales de aceleración muestreadas a 2000 Hz y 148 Hz respectivamente. Estos datos representan un desafío debido a su volumen y su naturaleza estocástica. Además, las señales EMG pueden ser afectadas por artefactos de movimiento, y en algunos casos, incluso perderse completamente.

Para iniciar con el procesamiento de las señales elaboramos un programa en Python que permite importar y "limpiar" las señales, es decir, eliminar el ruido no deseado. Esta limpieza se logra con filtros digitales que eliminan componentes no deseados de la señal, eliminando

interferencias. En situaciones donde hay datos faltantes o perdidos, se aplicó una técnica llamada interpolación, que permite rellenar esos espacios vacíos de manera coherente. La (Figura 4) es un ejemplo de una señal filtrada. El siguiente paso es el cálculo de ciertas métricas que aportarán información sobre las características y calidad de las señales, como el valor RMS (un tipo de promedio) y los puntos donde la señal alcanza sus valores más altos.

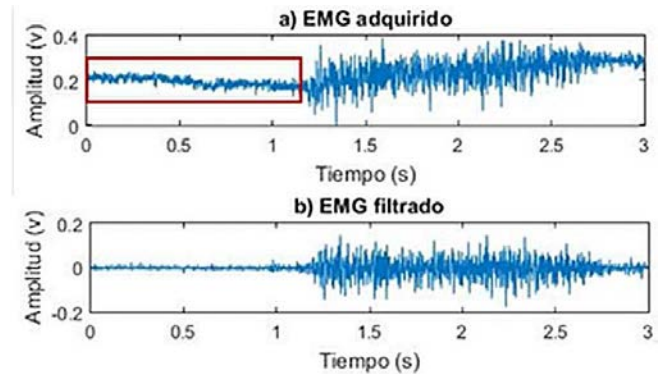


Figura 4. Señales de EMG adquiridas a) y filtradas b). Se puede observar cómo se eliminan variaciones atribuibles a artefactos de movimiento (imagen propia).

En la siguiente etapa del experimento se utilizarán estas características para entrenar un modelo de IA que pueda depurar las señales de manera automatizada. Existen varios modelos que podrían ser adecuados para esta tarea, como las Redes Neuronales Recurrentes (RNN) y las Máquinas de Vectores de Soporte (SVM). Las RNN son particularmente prometedoras debido a su capacidad para manejar secuencias de datos, que son comunes en el procesamiento de señales. Por otro lado, las SVM son conocidas por su eficiencia y su capacidad para manejar grandes espacios dimensionales, lo que podría ser útil dado el gran número de características que se pueden considerar.

En la Figura 5, se presenta la interfaz desarrollada en Python para el preprocesamiento de las señales, incluyendo la visualización de las señales EMG y de aceleración y el cálculo de sus valores RMS.



Figura 5. Interfaz realizada en Python para aplicar el procesamiento a la señal seleccionada (imagen propia).

Aunque aún queda mucho por hacer, pero se considera que la IA es una técnica prometedora en este campo de investigación.

Conclusiones

La fusión de tecnología y medicina ha revolucionado la cirugía laparoscópica, conocida por ser mínimamente invasiva y por sus rápidos tiempos de recuperación. A pesar de sus ventajas, exige una elevada destreza quirúrgica. Las señales electromiográficas (EMG) y de aceleración pueden ofrecer perspectivas sobre el rendimiento quirúrgico, pero analizarlas es complejo.

La inteligencia artificial (IA) tiene el potencial de transformar este análisis. Mediante la IA, es posible extraer características esenciales de los datos, reducir interferencias y diseñar modelos para evaluar destreza quirúrgica en tiempo real. Con técnicas avanzadas de procesamiento de señales, ya hemos obtenido métricas iniciales, y el siguiente paso es integrar modelos de IA para refinar estas métricas.

Con el progreso en IA y tecnología, nos acercamos a una era donde la evaluación quirúrgica será precisa y en tiempo real, elevando la calidad de la cirugía laparoscópica. Este cruce entre medicina, ingeniería y IA promete revolucionar la atención médica. Aunque el reto es grande, los beneficios son prometedores y merecen la inversión en investigación.*

REFERENCIAS

1. Bilgic, E., Gorgy, A., Yang, A., Cwintal, M., Ranjbar, H., Kahla, K., Reddy, D., Li, K., Ozturk, H., Zimmermann, E., Quaiattini, A., Abbasgholizadeh-Rahimi, S., Poenaru, D. y Harley, J. M. (2022). Exploring the roles of artificial intelligence in surgical education: A scoping review. *The American Journal of Surgery*, 224(1, Part A), 205–216.
2. Alkatout, I., Mechler, U., Mettler, L., Pape, J., Maass, N., Biebl, M., Gitas, G., Laganà, A. S. y Freytag, D. (2021). The Development of Laparoscopy—A Historical Overview. *Frontiers in Surgery*, 8.
3. Cuschieri, A. (2005). Laparoscopic surgery: Current status, issues and future developments. *The Surgeon*, 3(3), 125–138.
4. D’Ettorre, C., Mariani, A., Stilli, A., Rodriguez y Baena, F., Valdastrì, P., Deguet, A., Kazanzides, P., Taylor, R. H., Fischer, G. S., DiMaio, S. P., Menciassi, A. y Stoyanov, D. (2021). Accelerating Surgical Robotics Research: A Review of 10 Years With the da Vinci Research Kit. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 28(4), 56–78.
5. Shugaba, A., Lambert, J. E., Bampouras, T. M., Nuttall, H. E., Gaffney, C. J. y Subar, D. A. (2022). Should All Minimal Access Surgery Be Robot-Assisted? A Systematic Review into the Musculoskeletal and Cognitive Demands of Laparoscopic and Robot-Assisted Laparoscopic Surgery. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, 26(7), 1520–1530.
6. Thurston, T., Dolan, J. P., Husain, F., Stroud, A., Funk, K., Borzy, C. y Zhu, X. (2022). Assessment of muscle activity and fatigue during laparoscopic surgery. *Surgical Endoscopy*, 36(9), 6672–6678.

SOBRE LOS AUTORES



Naidelyn Linares Guzmán nació en Toluca, Estado de México en el año 2001, actualmente es estudiante en la carrera de Ingeniería en Computación en la Universidad Autónoma del Estado de México. Participa como becaria en el sistema de información científica Redalyc red de revistas científicas, participando como desarrolladora *front-end*. Sus intereses son el desarrollo de videojuegos y aplicaciones de la inteligencia artificial.



Oscar Franco Juan nació en Toluca, Estado de México en el año 2000, actualmente realiza actividades de desarrollador *back-end* en el sistema de información científica Redalyc red de revistas científicas. Estudiante de ingeniería en computación en la Universidad Autónoma del Estado de México. Sus intereses son el desarrollo de inteligencia artificial aplicadas al procesamiento y análisis de bioseñales.



Juan Hereiva Osorio nació en Toluca, Estado de México, actualmente estudiante de ingeniería en computación en la Universidad Autónoma del Estado de México. Además, se desempeña como tester en la empresa Kimerkia S.A de C.V, desarrolladora de páginas web y aplicaciones móviles en el área automotriz. Sus intereses de investigación son el análisis de datos para identificar patrones de consumo de contenido multimedia.



Rigoberto Martínez Méndez obtuvo el título de ingeniero en electrónica por el ITA, el grado de maestro en ciencias en bioelectrónica por el CINVESTAV, México y recibió el grado de Ph.D en biomédica por la Universidad de Chiba en Japón en 2011. Actualmente es miembro del SNI nivel I y se desempeña como profesor e investigador en la UAEMex. Sus intereses de investigación incluyen el análisis de bioseñales y el desarrollo de dispositivos biomédicos portables no invasivos.



Rosa María Valdovinos Rosas es Dra. en Ciencias Computacionales, miembro del SNI nivel II. Ha participado en más de 15 proyectos de investigación con impacto social y científico, además cuenta con producción en revistas indizadas, capítulos de libro, publicaciones en congresos, libros, conferencias dictadas y una patente otorgada. Ha formado estudiantes de licenciatura, Maestría y Doctorado. Participa en la organización de eventos para la divulgación de la ciencia y despertar vocaciones tempranas. Su producción científica ha obtenido más 1000 citas, con un índice H14 y es una de las 10,000 científicas más influyentes a nivel Nacional, de acuerdo con el International AD Scientific index 2023.



Daniel Lorias Espinoza nació en Guaymas, Sonora, México, en 1974. Obtuvo los grados de M.S. y Ph.D. en Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV, Ciudad de México, México, en 2004 y 2008, respectivamente. Desde 2010, ha sido Profesor de Investigación en CINVESTAV, Ciudad de México, México. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI-1). Sus intereses actuales de investigación incluyen tecnologías percutáneas y mínimamente invasivas.



Imagen tomada de: <https://revistamedica.com/cirugia-asistida-por-inteligencia-artificial-avances-aplicaciones/>.