

ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS DE REHABILITACIÓN EN MIEMBROS SUPERIORES CON KINOVEA

REHABILITATION MOVEMENT ANALYSIS IN UPPER LIMBS WITH KINOVEA

Blanco-Ortega, Andrés^a, Colin-Ocampo Jorge^a, Abúndez-Pliego Arturo^a, Santana Camilo José A.^b, Lara Barrios Carlos M.^a y Vargas Ortiz Miltón U.^a

^a Tecnológico Nacional de México/Cenidet, Depto. Mecánica, Cuernavaca Morelos México CP.62490 (e-mail: andres.bo@cenidet.tecnm.mx)

^b Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec, Zacatepec de Hidalgo, Morelos México CP.62780

RESUMEN. Los especialistas en fisioterapia cuentan con pocas herramientas para evaluar de manera cuantitativa el avance o mejora de un paciente en un proceso de rehabilitación. Incluso, los dispositivos mecánicos (rueda de hombro, barras paralelas, escalera con rampa, entre otros) o dispositivos mecatrónicos pasivos que utilizan, no proporcionan datos cuantificables de las características de los movimientos que realizan los pacientes. En otras palabras, estos dispositivos no cuentan con sensores que proporcionen datos que puedan utilizar para evaluar la mejora del paciente. Una opción para el seguimiento y evaluación de los movimientos de rehabilitación es el uso de sistemas de visión. Sin embargo, estos sistemas son de alto costo, por lo que no son de fácil acceso. En este artículo se presenta el análisis biomecánico, con el software de Kinovea, de movimientos de rehabilitación utilizando un sistema de rehabilitación pasivo para extremidades superiores que utiliza un cable flexible. Kinovea es un software libre para el análisis de vídeo enfocado para la evaluación de movimiento. El objetivo del análisis en Kinovea es caracterizar los movimientos de rehabilitación que permitan al especialista evaluar el desempeño y mejora mediante datos cuantificables. De los análisis se obtienen las gráficas de amplitud y velocidad para movimientos en las extremidades superiores.

Palabras clave: rehabilitación de extremidades superiores, robot de rehabilitación con cable flexible, mecanismo accionado por cable.

ABSTRACT. Physiotherapy specialists have few tools to quantitatively evaluate a patient's progress or improvement in a rehabilitation process. Even the mechanical devices (shoulder wheel, parallel bars, ramp stairs, among others) or passive mechatronic devices they use do not provide quantifiable data on the characteristics of the movements performed by patients. In other words, these devices do not have sensors that provide quantifiable data that can be used to evaluate the patient's improvement. One option for monitoring and assessing rehabilitation movements is the use of vision systems. However, these systems are expensive and therefore not easily accessible. This article presents the biomechanical analysis, using Kinovea software, of rehabilitation movements using a passive rehabilitation system for upper limbs that uses a flexible cable. Kinovea is free software for video analysis focused on motion evaluation. The objective of the analysis in Kinovea is to characterize rehabilitation movements that allow the specialist to assess performance and improvement through quantifiable data. From the analysis, amplitude and velocity graphs are obtained for movements in the upper limbs.

Key words: Upper limb rehabilitation, cable-based rehabilitation robot, wire-driven mechanism

INTRODUCCIÓN

Los seres humanos estamos propensos a sufrir lesiones durante las actividades de la vida diaria y en la práctica deportiva. Las lesiones más frecuentes, que requieren de un proceso de rehabilitación para recuperar la parte afectada, se reportan en las articulaciones del tobillo [1, 2] y miembros superiores (hombro-codo) [3, 4]. Por otra parte, el número de personas discapacitadas que padecieron un ACV aumenta día a día. Se pronostica que seguirá aumentando a un ritmo alarmante en Estados Unidos y varios países del mundo [1, 2].

Las personas que presentaron un ACV, generalmente, tiene pérdida de movimiento en una mitad del cuerpo, requiriendo rehabilitación inmediata para recuperar parte de la movilidad en las extremidades. También, las personas que tuvieron lesiones o traumatismos en una parte del cuerpo requieren de un proceso de rehabilitación. La rehabilitación es el proceso por el cual se recuperan las aptitudes físicas perdidas a causa de un incidente traumático mediante terapia física. La rehabilitación es benéfica para reducir la espasticidad, aumentar la amplitud de movimiento, mejorar la resistencia muscular, aumentar el control de la movilidad

muscular (motricidad), mejorar la propiocepción, así como, mejorar las condiciones de pacientes con enfermedades neuromusculares. Sin embargo, las sesiones de rehabilitación tradicionales suelen ser un proceso lento, tedioso y poco motivador; que se apoya en herramientas de evaluación clínica, es decir, escalas de evaluación que tienden a dar valoraciones subjetivas e interpretaciones imprecisas del desempeño del paciente [5].

Por otra parte, en las últimas dos décadas, empresas de desarrollo tecnológico, centros de investigación y universidades de varias partes del mundo, han desarrollado máquinas mecánicas o sistemas robóticos que ayudan a rehabilitar y fortalecer la parte afectada (por ejemplo: tobillo, rodilla, cadera, hombro, etc.). También, ayudan a disminuir la carga de trabajo de un fisioterapeuta; incrementar el número de servicio de terapias; reducir el tiempo de recuperación y ofrecer una mayor diversidad de terapias personalizadas con movimientos precisos y seguros.

Para el seguimiento de la mejora de la parte afectada cuando se utiliza un sistema de rehabilitación mecánico, generalmente, se utilizan los sensores que registran el movimiento del sistema mecánico. Sin embargo, en muchas máquinas que son para rehabilitación pasiva (Figura 1.a), no contienen sensores para medir los ángulos de las extremidades. Por lo que, no proporcionan datos al especialista para evaluar la mejora y el desempeño del usuario. Estos aparatos pasivos de rehabilitación, generalmente, proporcionan movimiento con una amplitud dada y a una velocidad constante programada (Figura 1.b). Sin embargo, no proporcionan resultados o datos al especialista sobre los movimientos realizados por el usuario.

La mayoría de los aparatos disponibles en los centros de rehabilitación como son la rueda para el hombro, escalera con rampa, barras paralela para la marcha, entre otros no cuentan con sensores para medir los movimientos en cada segmento de las extremidades que realizan los ejercicios. Incluso, cuando el especialista realiza los movimientos pasivos al paciente, no tiene una medición precisa de la amplitud y velocidad de los movimientos ejercidos. Además, los dispositivos comerciales como los

rehabilitados pasivos (rodilla, cadera, hombro, etc.) tampoco proporcionan una medición de las posiciones o velocidades angulares que se tiene en cada parte de la extremidad. Por lo que, el especialista no puede valorar de manera precisa el avance en cuanto a la amplitud del rango de movimiento en cada parte en proceso de rehabilitación.

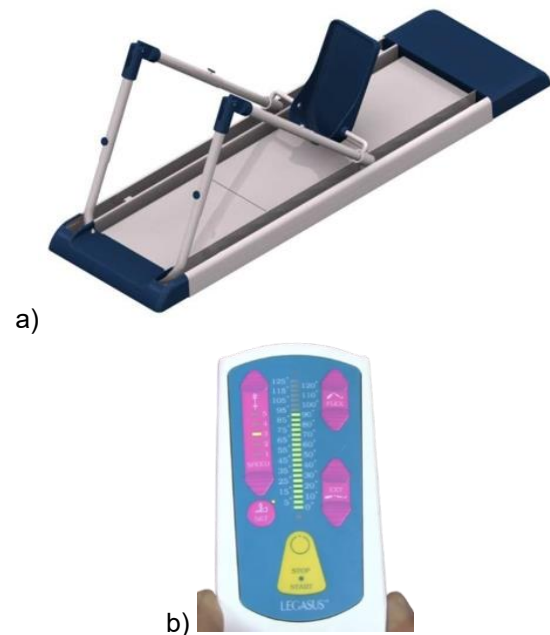


Figura 1. a) Rehabilitador pasivo de rodilla y b) Control remoto de rehabilitador de rodilla (Elaboración Propia - EP).

El análisis de movimiento ha demostrado ser una herramienta útil de evaluación y supervisión para que los fisioterapeutas determinen parámetros biomecánicos, evalúen patrones de movimiento durante las tareas funcionales y el estudio de problemas de movimiento [5] - [9].

Para proporcionar datos más objetivos que las escalas observacionales, en los últimos años se han desarrollado nuevos métodos de análisis de movimiento de bajo costo [6]. Estos se basan en el uso de vídeos capturados por cámaras de vídeo o dispositivos inteligentes móviles para su posterior análisis. Las aplicaciones más utilizadas son: Ubersense®, PostureScreen® o KCapture® para dispositivos inteligentes móviles y Kinovea®, The Capture® o SimiMotion® para aplicaciones de PC [10].

Kinovea es una aplicación de software libre para el análisis, comparación y evaluación del deporte y el entrenamiento, especialmente indicada para profesores y entrenadores de educación física. La principal ventaja de Kinovea es la facilidad de uso y el análisis sin utilizar sensores físicos [11]. Kinovea es un software de análisis de movimiento 2D para ordenadores que puede utilizarse para medir parámetros cinemáticos. Este software permite analizar vídeo sin marcadores, aunque su fiabilidad puede mejorar con el uso de marcadores pasivos. Kinovea ha sido utilizado por diversos autores para analizar la carrera, el salto vertical en deportistas, rehabilitación y fisioterapia [5, 10-12].

Actualmente, los sistemas de análisis de captura de movimiento sin marcadores representan una categoría separada entre los dispositivos de análisis de movimiento. Sus ventajas incluyen que el tiempo de preparación de la medición es mínimo, los sistemas se pueden utilizar en casa, no impiden el movimiento y son casi tan precisos como si la captura de movimiento se hubiera realizado con el uso de marcadores [12].

En este artículo se propone evaluar el desempeño de Kinovea para la detección y análisis del movimiento enfocado en la rehabilitación de miembros superiores, donde los movimientos son actuados por un cable flexible.

METODOLOGÍA

El diagrama de bloques que muestra la metodología propuesta se muestra en la Figura 2.

A continuación, se describe la metodología realizada:

1. Instalar el equipo de grabación de vídeo perpendicular al usuario. El dispositivo de captura es un celular de la marca Xiaomi modelo Redmi Note 9 con una cámara trasera de $\frac{1}{2}$ " con un campo de visión de 79.4° al cual se ha configurado para obtener fotogramas con una resolución de 1280×720 píxeles a una tasa de 30fps. Se ha colocado esta cámara en un trípode de manera y se ha dejado fija intentando que la posición y ángulo no varíe entre cada experimento para cada uno de los movimientos

2. Grabar con el equipo al usuario, mientras la máquina proporciona el movimiento de rehabilitación. Se programa el ejercicio de rehabilitación en la máquina de rehabilitación para extremidades superiores. Se coloca al usuario un brazalete en la muñeca para proporcionar el movimiento con un cable flexible (flexión de codo, abducción, entre otros.), ver Figura 2.
3. Editar el vídeo en Kinovea. Se especifica las características de la cámara (velocidad de captura). Se ajusta las dimensiones del vídeo (zona de trabajo), se determina el tiempo de inicio y fin del segmento de vídeo. Se define una longitud (por ejemplo, la longitud del brazo extendido de 52 cm) en el programa para calibrar, para que pueda determinar los desplazamientos considerando las unidades reales de longitud de forma proporcional.
4. Colocar marcas, puntos de interés, en la extremidad superior de la persona. Se asignan las medidas de ángulo mediante las marcas que se fijan en el usuario.



Figura 2. Diagrama de bloques de la metodología (EP).

5. Iniciar el análisis para determinar posiciones y velocidades. Se realiza el análisis, verificando que en cada fotograma se mantengan los puntos de interés (marcas).
6. Exportar datos para graficar en Matlab. Se exportan los datos del análisis cinemático obtenido, para graficar en Matlab.
7. Análisis de resultados. Con base a los resultados graficados se analiza cada movimiento de rehabilitación. Datos que servirán a un especialista para cuantificar la mejora en el proceso de rehabilitación.

En este trabajo se utiliza un sistema de rehabilitación de extremidades superiores en modo pasivo, es decir, el paciente no realiza ningún esfuerzo al momento de que la máquina realiza el movimiento. Este sistema es de tres grados de libertad (gdl), y presenta una configuración tipo grúa, ver Figura 3.

Descripción del sistema

En la Figura 3 se muestra el rehabilitador de extremidades superiores que utiliza guías lineales y un sistema de cable-polea [13] [14]. El sistema contiene, en la parte superior, dos guías lineales para los movimientos en el eje X y Y. El movimiento en el eje Z es obtenido mediante el sistema de cable-polea.

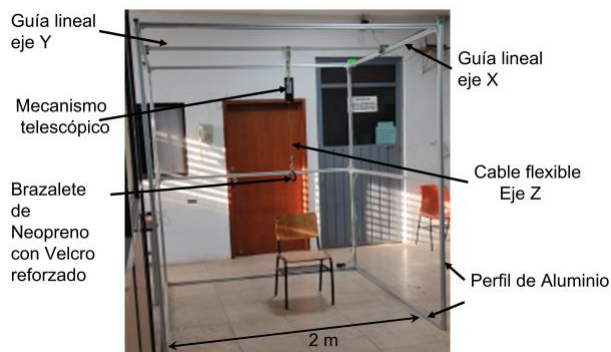


Figura 3. Sistema de rehabilitación de extremidades superiores [13] [14] (EP).

El sistema propuesto, puede proporcionar, entre otros, los movimientos de: flexión-extensión del hombro, rotación externa del hombro, flexión del codo y abducción del hombro, ver Figura 4. Por el uso del cable flexible, proporciona cierta movilidad al usuario, a diferencia de un sistema robótico rígido. Además, por la configuración del rehabilitador, en forma de una grúa tipo puente, se puede proporcionar un rango

mayor de movimiento en los ejercicios de rehabilitación. También, se puede utilizar para ejercicios de rehabilitación en ambos brazos (derecho o izquierdo).

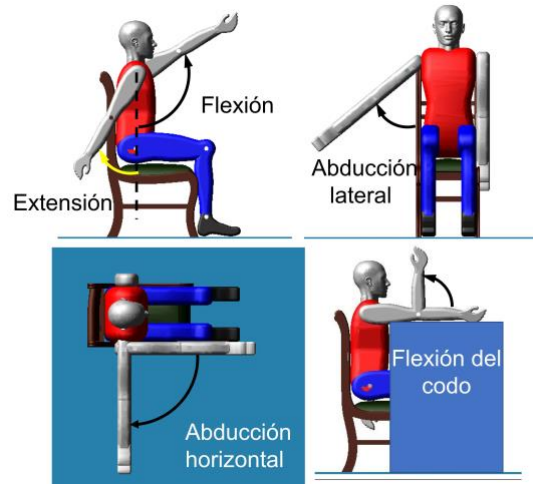


Figura 4. Movimientos de rehabilitación de extremidades superiores (EP).

En la Tabla 1 y Tabla 2 se muestran los valores máximos para los diversos movimientos del hombro [15] y codo [16].

Tabla 1. Valores máximos de la articulación del hombro.

Tipo de movimiento	Valor máximo
Flexión	180°
Extensión	50°
Aducción lateral	48°
Abducción lateral	134°
Rotación Interna	34°
Rotación Externa	142°
Circunducción	360°

Tabla 2. Valores máximos de la articulación del codo.

Tipo de movimiento	Valor máximo
Flexión	140-150°
Extensión	2-10°
Supinación	90°
Pronación	80-85°

A continuación, se describen algunos de los movimientos que puede proporcionar la máquina de rehabilitación de extremidades superiores.

Movimientos de rehabilitación

A continuación, se describen algunos de los movimientos que puede proporcionar la máquina de rehabilitación de extremidades superiores.

Flexión del codo

La flexión del codo se considera un movimiento puro. El usuario sentado con el brazo apoyado sobre una base estira el codo lo máximo posible, colocando el dorso de la mano en horizontal. Posteriormente, flexiona el codo llevando la mano hacia el hombro, formando un ángulo como se muestra en la Figura 4.

Rotación externa del hombro

El usuario se sienta con el hombro en posición de abducción de 90° . Manteniendo el hombro en abducción, gira el hombro hacia atrás manteniendo el codo a 90° . Luego, regresa lentamente a la posición inicial. Ver Figura 5.

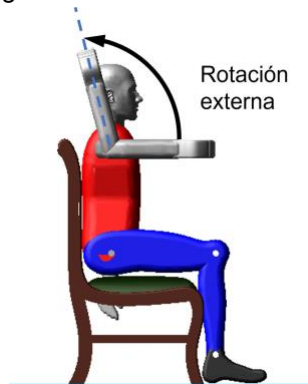


Figura 5. Rotación externa del hombro (EP).

Extensión del hombro

El movimiento de extensión se realiza en el plano sagital, alrededor de un eje transversal. La extensión de hombro es un movimiento de baja amplitud de 45° a 50° . Con el brazo extendido en posición neutral, se mueve el brazo extendido hacia atrás. Posteriormente, se devuelve lentamente el brazo a la posición inicial. Ver Figura 4.

Abducción del hombro

La abducción es un movimiento en el que se eleva el brazo lateralmente hacia arriba, alejando la extremidad superior del tronco, alcanzando una amplitud de 180° . El codo debe mantenerse recto (extendido) y la palma de la mano mirando hacia el suelo como se muestra en la Figura 4.

Circunducción del hombro

Es el movimiento que resulta de la combinación de la flexión, extensión, abducción y aducción; produciendo un movimiento circular debido a que el

cuerpo dibuja una especie de forma de cono. Ver Figura 6.



Figura 6. Circunducción del hombro (EP).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para obtener los resultados de los movimientos para analizar en Kinovea, en el rehabilitador de extremidades superiores con cable flexible, participó un usuario sano (sin lesiones en las extremidades superiores).

Se han realizado varios estudios para determinar la validez de criterio (precisión con la que una prueba mide el resultado para el que fue diseñada) entre Kinovea® y sistemas comerciales de visión como VICON Motion System®, y software desarrollado como Openpose y MediaPipe Pose mostrando buenos resultados ($r > 0.80$) [17-19].

A continuación, se presentan el análisis de los resultados experimentales con el rehabilitador de extremidades superiores con cable flexible mediante Kinovea.

Abducción del hombro

En la Figura 7 se muestran el usuario (persona sin lesión), en dos diferentes posiciones angulares de un movimiento de abducción (82.2° y 122°). El movimiento continuo que se analizó en Kinovea, se muestra en la Figura 8. Se puede observar que se realizan dos ciclos de manera suave en un tiempo de 85 s, con una amplitud angular de 25° a 125° , aproximadamente. La velocidad angular máxima es de aproximadamente $15^\circ/s$. Considerando, que de subida es más rápido el movimiento que cuando baja el brazo.



Figura 7. Posiciones de abducción del hombro (EP)

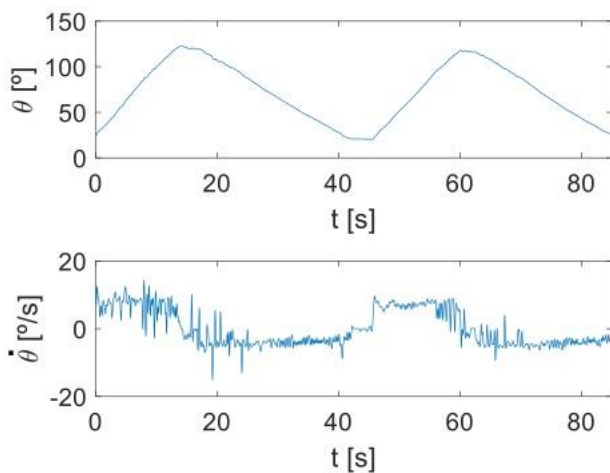


Figura 8. Respuesta de movimiento de abducción con movimiento lento.

En la Figura 9 se muestra los resultados analizados en Kinovea para un movimiento rápido de abducción del hombro; dos ciclos con amplitud de 18° a 128° en 40 s, aproximadamente. La velocidad angular máxima es de aproximadamente $24^\circ/\text{s}$. Se puede observar que se hacen pausas en el movimiento (permanece sin movimiento) cuando el brazo llega a la posición máxima, y cuando regresa a la posición inicial.

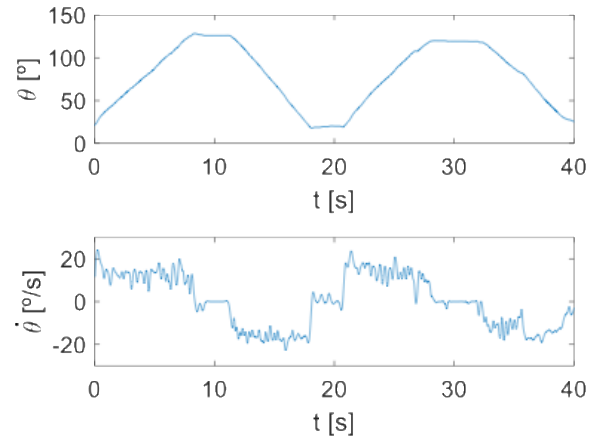


Figura 9. Respuesta de movimiento de abducción con movimiento rápido.

Circunducción del hombro

Como se describió en la sección de Metodología, este movimiento es más complejo, ya que se combinan los movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción, ver Figura 10.

En Kinovea se tiene un sistema de coordenadas que se utiliza para definir el origen, y así considerar en las amplitudes de los movimientos, sentido de la velocidad, ver Figura 11. El origen del sistema de coordenadas es independiente del objeto de calibración. Se puede mover arrastrando los ejes.



Figura 10. Posiciones del brazo en un movimiento de circunducción (EP).



Figura 11. Sistema de coordenadas para determinar las posiciones en el movimiento de circunducción (EP).

Con base en la Figura 12, se puede observar que el movimiento de circunducción en el eje x, va de -38 cm a 40 cm, aproximadamente, ver también Figura 13. Para el movimiento en el eje y, va de 0 a 80 cm, aproximadamente, ver Figuras 12 y 13.

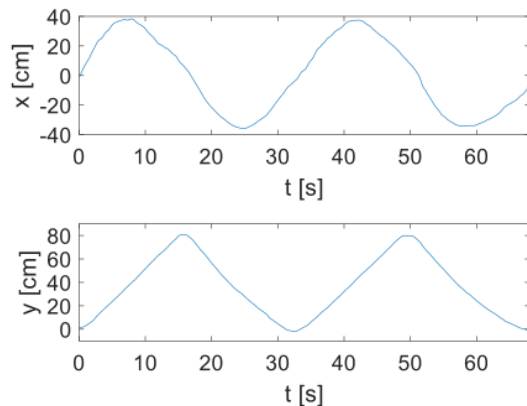


Figura 12. Respuesta de posición en el eje x y y, a un movimiento de circunducción.

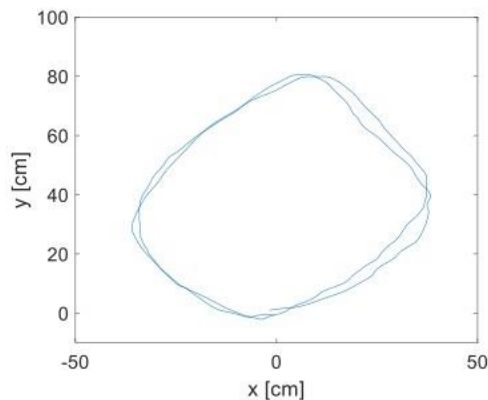


Figura 13. Respuesta a un movimiento de circunducción, x vs y.

Por otra parte, la respuesta del movimiento de circunducción, graficando x vs y, se muestra en la Figura 13. Se pueden apreciar los dos ciclos de movimiento, sin embargo, no se cuenta con una trayectoria circular. Esto puede derivarse de varias razones, una de ellas, es que la inercia total del brazo afecta el movimiento, considerando que se tiene un cable flexible y no un sistema completamente rígido. Sin embargo, esta posibilidad de que el usuario pueda controlar parte del movimiento por la rigidez (espasticidad) que se presenta en las articulaciones de su brazo, evita que pueda presentarse dolor por movimientos indeseados. Otra razón, es que se tiene un sistema de control del motor en lazo abierto. Se recomendaría un control en lazo cerrado y que sea más robusto ante incertidumbres paramétricas y perturbaciones presentes en el sistema.

Comparado a la respuesta del movimiento de circunducción, con un sistema automático de dos gdl, basado en el mecanismo de la rueda para rehabilitación de hombro [20], se observa que se tiene un movimiento completamente circular. En esta máquina automática los autores implementaron un control tipo Proporcional-Integral-Derivativo (PID) con el seguimiento de trayectorias. Sin embargo, cuando se tiene una lesión impide ciertos movimientos y se reduce el rango de movimiento, por lo que es más deseable que el movimiento se ajuste al usuario, como ocurre con esta máquina que utiliza un cable flexible.

De los resultados obtenidos, se puede observar que puede ser una herramienta útil para los especialistas en rehabilitación, ya que proporciona información cuantificable. El especialista puede monitorear la amplitud de movimiento entre cada sesión de rehabilitación de una manera más precisa. Por medio del análisis de la respuesta, el especialista pudiera determinar en qué parte del movimiento el paciente presenta aún rigidez, que movimientos sería más recomendables para la rehabilitación del paciente. Además, el paciente puede realizar sus rutinas de rehabilitación en casa y tomar vídeos que puede enviar al especialista para su análisis. De esta manera el especialista puede analizar su avance y

proponer nuevas rutinas que coadyuven a una pronta mejora del paciente.

CONCLUSIONES

En este artículo se presenta el análisis de movimientos de rehabilitación obtenidos de un usuario utilizando una máquina de movimiento pasivo continuo para extremidades superiores. El uso de Kinovea para el análisis biomecánico de movimientos en el brazo proporciona la respuesta de la cinemática (posición, velocidad, aceleración, entre otros). Con esta información el especialista tendrá datos para dar un mejor seguimiento y evaluar la mejora de la parte afectada del paciente. Mediante el uso de una cámara (celular) se obtienen datos cuantitativos de una manera económica para evaluaciones clínicas. Kinovea permite analizar la cinemática mediante vídeo sin marcadores, aunque su fiabilidad puede mejorar con el uso de marcadores pasivos, por lo que se recomienda poner desde la grabación del vídeo. De los resultados, se puede concluir que la máquina de rehabilitación con cable flexible permite al usuario ajustarse a los movimientos, lo que evitará que presente dolor o molestias. También, se puede visualizar que la amplitud es similar entre un ciclo y otro en los movimientos presentados de abducción y circunducción. Alguna variación en el movimiento pudiera dar indicaciones de la parte afectada, la cual puede ser evaluada por el especialista.

AGRADECIMIENTOS Y/O RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por parte del TecNM, al proyecto "Máquina de rehabilitación para extremidades superiores con cable flexible".

REFERENCIAS

1. M.G. Alvarez-Perez; M.A. Garcia-Murillo & J. Cervantes-Sánchez. "Robot-assisted ankle rehabilitation: a review", *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, vol. 15, no. 4, p. 394-408, 2020. doi: 10.1080/17483107.2019.1578424.
2. L. C. Chee Chin; S.N. Basah; M. Affandi; M.N. Shah; S. Yaacob; Y. Ewe Juan & M.Y. Din. "Home-based Ankle Rehabilitation System: Literature Review and Evaluation". *Jurnal Teknologi*, vol. 79, no. 6. 2017. doi: 10.11113/jt.v79.8468.
3. A. Demofonti; G. Carpino; L. Zollo and M.J. Johnson. "Affordable Robotics for Upper Limb Stroke Rehabilitation in Developing Countries: A Systematic Review", *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, vol. 3, no. 1, p. 11-20. 2021. doi: 10.1109/TMRB.2021.3054462.
4. H.M. Qassim; W.Z: Wan Hasan. "A Review on Upper Limb Rehabilitation Robots". *Applied Sciences*. Vol. 10, no. 19, 2020. doi: 10.3390/app10196976.
5. Spasojević S, Ilić TV, Milanović S, Potkonjak V, Rodić A, Santos-Victor J. "Combined Vision and Wearable Sensors-based System for Movement Analysis in Rehabilitation". *Methods Inf Med*. vol.56, no 2, p. 95-111. 2017. doi: 10.3414/ME16-02-0013.
6. K. Mills. "Motion analysis in the clinic: There's an app for that". *Journal of Physiotherapy*. vol. 61, no. 1, p. 49-50. 2015. doi: 10.1016/J.JPHYS.2014.11.014
7. M. Bonenfant et al., "A Computer Vision System for Virtual Rehabilitation," 14th Conference on Computer and Robot Vision (CRV), Edmonton, AB, Canada, 2017, p. 269-276, doi: 10.1109/CRV.2017.30.
8. Dorado, Javier, Xavier del Toro, María J. Santofimia, Alfonso Parreño, Rubén Cantarero, Ana Rubio and Juan Carlos López. "A computer-vision-based system for at-home rheumatoid arthritis rehabilitation." *International Journal of Distributed Sensor Networks* vol. 15, no. 9, 2019. doi:10.1177/1550147719875649.
9. Hellsten T, Karlsson J, Shamsuzzaman M, Pulkkis G. "The Potential of Computer Vision-Based Marker-Less Human Motion Analysis for Rehabilitation". *Rehabilitation Process and Outcome*. 2021;10. doi:10.1177/11795727211022330.
10. P. Fernández-González, A. Koutsou, A. Cuesta-Gómez, M. Carratalá-Tejada, J.C. Miangolarra-Page, Molina-Rueda F. "Reliability of Kinovea® Software and Agreement with a Three-Dimensional Motion System for Gait Analysis in Healthy Subjects". *Sensors*. vol. 20, no. 11, 2020. doi: 10.3390/s20113154.
11. C.H. Guzmán; A. Blanco; M.A. Oliver.; J.L. Carrera, "Therapeutic Motion Analysis of Lower Limbs Using Kinovea." *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, vol. 3, no. 2. 2013.
12. F. Zsamoczky-Dulhazi, S. Agod, S. Szarka, K. Tuza, & B. Kopper. "AI Based Motion Analysis Software for Sport and Physical Therapy Assessment". *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2024. doi: 10.1590/1517-8692202430012022_0020i.
13. M.U. Vargas-Ortiz, A. Blanco-Ortega, C.M. Lara-Barrios, A. Magadán-Salazar, M.J. Palacios-Gallegos, V.F. Ramos Fon Bon. "Análisis Cinemático de un Sistema de rehabilitación para miembros superiores con cables flexibles". *Jornada de Ciencia y Tecnología Aplicada*. vol. 4, no. 2. 2021.
14. A. Blanco-Ortega, J. Villanueva-Tavira, A. Magadán-Salazar, M. U. Vargas-Ortiz, C. M. Lara-Barrios, H. M. Buenabad-Arias, M. J. Palacios-Gallegos, S. Valdez-Martinez, Chapter 6 - Three-DOF upper limb rehabilitation machine using a flexible cable, Editor(s): Manuel Cardona, *Rehabilitation Robotics and Healthcare Devices*, Academic Press, 2025, Pages 131-151, ISBN 9780443215056, doi: 10.1016/B978-0-443-21505-6.00010-4.
15. A. Magadán, A. Blanco, José A. Santana, F. A. Gómez, E. Antunez, *Diseño y control de un rehabilitador de hombre*. Pistas Educativas, No. 130, noviembre 2018, México. Pp. 1764-1778.
16. M. T. Angulo, A. Álvarez, Y. Fuentes. *Biomecánica de la Extremidad Superior. Exploración del Codo*, Biomecánica clínica, Vol. 3, Núm. 4. Pp. 82-103. 2011.

17. Zsarnoczky-Dulhazi, F., Agod, S., Szarka, S., Tuza, K., & Kopper, B. AI Based Motion Analysis Software for Sport and Physical Therapy Assessment. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 30. 2024. doi:10.1590/1517-8692202430012022_0020i.
18. Amit Gupta et al Knee Flexion/Extension Angle Measurement for Gait Analysis Using Machine Learning Solution "MediaPipe Pose" and Its Comparison with Kinovea®, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2023. 1279 012004. doi: 10.1088/1757-899X/1279/1/012004.
19. Fernández-González, P.; Cuesta-Gómez, A.; Miangolarra-Page, J.C.; Molina-Rueda, F. (2022). Reliability and Validity of Kinovea to Analyze Spatiotemporal Gait Parameters. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. 22 (87) pp. 565-578. doi: 10.15366/rimcafd2022.87.009.
20. A. Magadán Salazar, A. Blanco Ortega, J. A. Santana Camilo, F.A.b Gómez Becerra, E. Antúnez Leyva. "Diseño y Control de un Rehabilitador de Hombro", *Pistas Educativas*, vol. 40, no. 130, 2018.