

Sistema inteligente para la evaluación de la función motora del miembro superior de pacientes con hemiparesia

Martín-Batanero, R.^{a,*}, Vales, Y.^a, García-Pérez, J.V.^a, Catalán, J.M.^a, Lledó, L.D.^a, García-Aracil, N.^a

^aGrupo de investigación de Robótica e Inteligencia Artificial del Instituto de Bioingeniería, Universidad Miguel Hernández, Avda. de la Universidad, 03202, Elche, España.

To cite this article: Martín-Batanero, R., Vales, Y., García-Pérez, J.V., Catalán, J.M., Lledó, L.D., García-Aracil, N. 2023. Intelligent system for upper limb motor function assessment of patients with hemiparesis. XLIV Jornadas de Automática, 71-76. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498609.071>

Resumen

La evaluación de la función motora del miembro superior de los pacientes con hemiparesia tras un ictus es necesaria para llevar a cabo el seguimiento de la recuperación de los pacientes y para adaptar la terapia a sus necesidades. Para ello, es necesario desarrollar nuevos métodos sencillos, rápidos y fiables que ayuden al personal clínico. Este artículo presenta un nuevo sistema de evaluación a través de dispositivos Magnetic, Angular Rate, and Gravity Sensor (MARG), con métodos de aprendizaje automático en base a técnicas de alineamiento temporal (DTW) para medir de forma objetiva la calidad de los movimientos ejecutados por el paciente. En este estudio se presentan los primeros resultados obtenidos de un estudio transversal cuyo objetivo es comprobar la eficiencia de este nuevo sistema de evaluación relacionando los resultados obtenidos mediante este sistema, con la clasificación de la función motora del miembro superior de pacientes con ictus basada en la evaluación de la escala Fugl-Meyer (FMA).

Palabras clave: Ensayo clínico, Ingeniería de rehabilitación y asistencia sanitaria, Tecnología de asistencia e ingeniería de rehabilitación, Modelización del rendimiento humano, Tecnología robótica,

Intelligent system for upper limb motor function assessment of patients with hemiparesis

The assessment of upper limb motor function in stroke patients with hemiparesis is necessary to monitor patients' recovery and to adapt therapy to their needs. To this end, new simple, fast and reliable methods need to be developed to assist therapists. This article presents a new evaluation system using MARG devices, with machine learning techniques based on temporal alignment techniques to objectively measure the quality of the movements executed by the patient. This study presents the preliminary results obtained from a cross-sectional study whose objective is to evaluate the performance of this new evaluation system by relating the results obtained through this system, with the classification of upper limb motor function of stroke patients based on the evaluation of the Fugl-Meyer scale.

Keywords: Clinical trial, Rehabilitation engineering and healthcare delivery, Assitive technology and rehabilitation engineering, Modeling of human performance, Robotics technology

1. Introducción

El Accidente Cerebrovascular (ACV) se trata de una importante alteración de salud pública que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) afecta a 110 millones de personas en todo el mundo, cifra en continuo aumento. Además, se trata de la principal causa de discapacidad del

mundo, derivando principalmente en secuelas físicas (Feigin et al., 2022; Gorelick, 2019). Aproximadamente el 70% de los pacientes presentan alteraciones en la función motora del miembro superior. Una terapia intensiva y adaptada al paciente es fundamental para recuperar la función motora. En este aspecto, la evaluación de la función motora del paciente permite comprobar la evolución del paciente y adaptar la terapia a sus

*Autor para correspondencia: raul.martin@umh.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

necesidades (Langhorne et al., 2011). Para ello, existen una gran variedad de escalas clínicas de evaluación para medir el deterioro motor en pacientes con ACV, como la FMA (Fugl-Meyer et al., 1975). Pero los resultados de estas podrían estar sesgados debido a la subjetividad del personal sanitario (Hsueh et al., 2008; Yu et al., 2016).

Varios estudios presentan el empleo de sensores vestibles como alternativa o soporte a las escalas clínicas, proporcionando una evaluación más rápida, objetiva y cuantificable (Maceira-Elvira et al., 2019; Yu et al., 2016). Los dispositivos magneto-inerciales se presentan como una de las mejores opciones, debido a su facilidad de uso y calidad de datos (Maceira-Elvira et al., 2019). Sin embargo, los sistemas basados en estos dispositivos no disponen de la capacidad de valorar la calidad de los patrones de movimiento realizados por el paciente, por lo que sus métodos de evaluación se basan únicamente en la valoración de los rangos articulares.

El presente estudio, propone un sistema innovador de valoración basado en sensores magneto-inerciales el cual dispone de un método de aprendizaje automático con técnicas de alineamiento temporal para medir de forma objetiva la calidad de los movimientos ejecutados por el paciente durante la realización de los ejercicios. La calidad de la trayectoria se evalúa en base a una base de datos de usuarios sanos. Este sistema de valoración se ha desarrollado dentro del marco del proyecto SIVARITA (SIVARITA, 2022), financiado por la Agencia Valenciana de Innovación INNVA1/2021/76, el cual tiene por objetivo la valoración de la patente P202130072.

Este estudio presenta los primeros resultados obtenidos de un estudio transversal cuyo objetivo es comprobar la eficiencia del nuevo sistema de evaluación relacionando los resultados obtenidos con la clasificación de la función motora del miembro superior de pacientes con ACV en base a la evaluación FMA.

2. Material y métodos

2.1. Participantes

El estudio se desarrolló en el Hospital IMED International Center, La Cala de Villajoyosa (Alicante, España) con pacientes que han acudido a la unidad de neurorrehabilitación tras sufrir una enfermedad neurológica. Los pacientes fueron derivados por el personal sanitario del área de rehabilitación del hospital según los criterios de inclusión establecidos. La experimentación del estudio ha sido aprobada por el Comité de Ética con el número de registro HLP.99_2023.

Todos los participantes debieron cumplir los siguientes criterios de inclusión: 1) pacientes que hayan sobrevivido a un accidente cerebrovascular; 2) mantener una afectación motora en el miembro superior, con Fugl-Meyer < 20; 3) capacidad de prensión de la mano; y 4) comprensión adecuada de las instrucciones de las tareas. Por otro lado, los criterios de exclusión son: 1) pacientes con un alto grado de espasticidad; con una puntuación > 2 en Escala Modificada de Ashworth (MAS) (Bohannon and Smith, 1987); 2) que no mantengan un control suficiente del tronco para mantenerse en sedestación durante la realización de la tarea; 3) que padezcan de un alto grado de dolor en el miembro superior con el que realizarían las tareas; y 4) presencia de alteraciones visuales, como agnosia aperceptiva.

La evaluación FMA se trata de una escala clínica específica de daño cerebral que mide la función motora del miembro superior afectado del paciente con el fin de determinar el nivel de deterioro (Fugl-Meyer et al., 1975). La puntuación máxima es de 66 puntos.

Los participantes han sido organizados en grupos en función de la puntuación obtenida en la evaluación FMA de miembro superior. Esta separación por grupos se ha llevado a cabo tal y como se realiza en otros estudios ya publicados (Gladstone et al., 2002; Velozo and Woodbury, 2011; See et al., 2013), de esta manera se definen 3 grupos de pacientes: puntuación > 50, pacientes con deterioro leve; puntuación de 50 a 20, pacientes con deterioro moderado; y una puntuación < 20, alteración grave del miembro superior. En el caso concreto de este estudio, se ha descartado el grupo de pacientes con un deterioro motor considerado como grave al no cumplir con los criterios de inclusión. Debido a esto, contamos con dos grupos de pacientes: Grupo 1, pacientes con deterioro leve; y Grupo 2, pacientes con deterioro moderado.

La Tabla 1 muestra los 6 participantes del estudio. Se han seleccionado tres pacientes para cada grupo. El Grupo 1 está compuesto por 3 mujeres con edades comprendidas entre 57 y 83 años (72 años \pm 13.45 años). El Grupo 2 se compone de 2 mujeres y 1 hombre con edades comprendidas entre 59 y 82 años (70 años \pm 11.50 años).

Table 1: Información de los pacientes del estudio junto con las puntuaciones de la escala de Fugl-Meyer de miembro superior.

| | n | Sexo | Edad | Diagnóstico | Lateralidad | FMA |
|---------|---|------|------|--------------------------------|-------------|-------|
| Grupo 1 | 1 | F | 83 | Ictus protuberancial | Izquierda | 55/66 |
| | 2 | F | 76 | Ictus isquémico carotideo | Izquierda | 64/66 |
| | 3 | F | 57 | Hematoma cerebeloso | Izquierda | 64/66 |
| Grupo 2 | 1 | F | 59 | Ictus isquémico protuberancial | Derecha | 29/66 |
| | 2 | F | 70 | Ictus isquémico protuberancial | Derecha | 36/66 |
| | 3 | M | 82 | Infarto bulbar anterior | Izquierda | 42/66 |

Nota. **FMA**, evaluación Fugl-Meyer para la función motora del miembro superior en personas que han sufrido un accidente cerebrovascular (Fugl-Meyer et al., 1975);

2.2. Sistema inteligente de evaluación de la función motora del miembro superior

Para este estudio se ha utilizado el sistema de rehabilitación para miembro superior desarrollado dentro del marco del proyecto SIVARITA (SIVARITA, 2022). Este sistema de rehabilitación, cuenta con una plataforma software destinada a la gestión, valoración e intervención de terapias de neurorrehabilitación, proporcionando al terapeuta herramientas de seguimiento de la evolución de los pacientes, ejercicios para la valoración de la función motora del miembro superior, y un banco de ejercicios para la rehabilitación con los que pueden programarse rutinas de ejercicios en función de las necesidades de cada paciente. Este banco de ejercicios emplea un avatar 3D a modo de guía visual, el cual realiza los movimientos que los pacientes deben imitar con el objetivo de ayudar a los pacientes en la correcta realización de los ejercicios.

Este sistema, está concebido para la realización de terapias de tele-rehabilitación, dotando al terapeuta de la capacidad de llevar a cabo la gestión de la terapia de cada paciente de forma remota, con una interfaz intuitiva y fácil de usar para que los

pacientes puedan utilizarla en sus hogares sin necesitar la ayuda de personal especializado.

La plataforma software integra la implementación un algoritmo de reconstrucción capaz de obtener en tiempo real la trayectoria articular del brazo de los pacientes por medio de tres dispositivos MARG (Magnetic, Angular Rate, and Gravity Sensor) (Bertomeu-Motos et al., 2018). En este estudio se han empleado tres sensores MARG modelo XSens-DOT (MovellaInc., 2023). Estos dispositivos inalámbricos operan vía Bluetooth y cuentan con una batería de 70mAh, la cual proporciona una autonomía de hasta 8h de uso continuo. Cada uno de estos dispositivos cuenta con una unidad de procesamiento interno con la capacidad de proporcionar en tiempo real, no solo la información en bruto correspondiente a los acelerómetros, los giróscopos y el magnetómetro, sino también el cuaternión correspondiente a la posición en el espacio del dispositivo. La frecuencia de muestreo que se ha utilizado para estos dispositivos es de 60Hz.

2.2.1. Evaluación de los rangos articulares

Para evaluar el rango articular de los pacientes, se utilizó la información recogida por el algoritmo de reconstrucción del brazo basado en tres dispositivos MARG del sistema de neurorrehabilitación SIVARITA (Bertomeu-Motos et al., 2018). En base a esta información, se calculó el rango de movimiento del paciente para cada una de las articulaciones del brazo para la correcta realización de los ejercicios de rehabilitación definidos en el protocolo del presente estudio.

2.2.2. Evaluación de las trayectorias articulares

Para evaluar la calidad de los movimientos de las extremidades superiores realizados por los pacientes se realizó una comparación con los movimientos realizados por usuarios sanos. El sistema de rehabilitación para miembro superior desarrollado dentro del marco del proyecto SIVARITA cuenta con una base de datos donde se almacenan las trayectorias articulares descritas por sujetos sanos para cada uno de los ejercicios de la plataforma. Esta base de datos fue utilizada por el sistema para entrenar un modelo de clasificación capaz de clasificar el ejercicio que ha realizado el paciente en función de la trayectoria articular. Tras la clasificación del movimiento realizado, se utilizó el algoritmo Dinamic Time Warping (DTW) (Sakoe and Chiba, 1978). Este algoritmo proporciona la distancia desde la trayectoria articular descrita por el paciente a la trayectoria descrita por los sujetos sanos, y considerada como ideal. A esta distancia se le conoce como distancia DTW. Tanto los resultados de la clasificación como la distancia DTW, son parámetros que proporciona el sistema para evaluar la calidad de los movimiento de las extremidades superiores.

En la Figura 1, se muestra una comparación preliminar de los diferentes clasificadores que han sido entrenados y comparados para clasificar la actividades de los usuarios en función de su trayectoria articular. Los resultados son para la clasificación de las trayectorias realizadas por usuarios sanos de las diferentes diferentes actividades definidas en el protocolo del presente estudio. Tal y como muestran los resultados (Figura 1) En este caso se ha decidido utilizar el método

Random Forest, ya que ha sido con el que se ha obtenido mejores resultados.

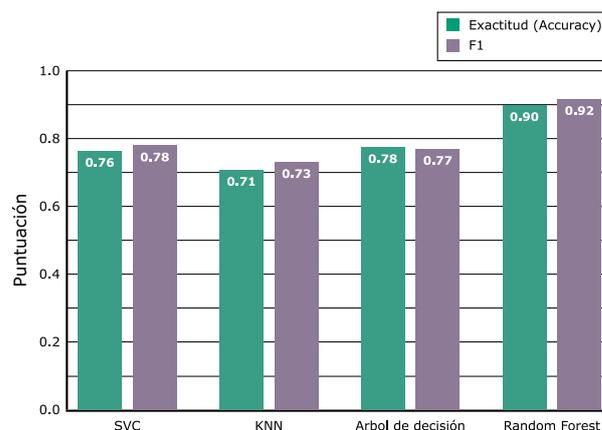


Figure 1: Resultados obtenidos durante la comparación de diferentes clasificadores para la clasificación de las diferentes actividades en base a las trayectorias articulares del miembro superior. En color verde se muestra el valor de la exactitud, el cual corresponde al porcentaje de aciertos. En color morado se muestra el valor F1, calculada a partir de la precisión y la exhaustividad del clasificador.

2.3. Evaluación de la usabilidad del sistema

Para medir la usabilidad del sistema, se ha utilizado el System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996). El SUS es una popular medida de la usabilidad percibida que determina el nivel de satisfacción y el rendimiento del sistema a partir de las expectativas del usuario. El cuestionario consta de 10 afirmaciones relacionadas con las características del sistema, en la que los usuarios deben indicar si están de acuerdo o en desacuerdo con dicha afirmación mediante una escala de 5 puntos del tipo Likert (de 1 a 5). (Likert, 2017)

Para facilitar la interpretación de la puntuación proporcionada por el cuestionario SUS, existen diferentes maneras de interpretar los resultados. Una de las interpretaciones más comunes es clasificar las puntuación a través de 6 adjetivos calificativos (Bangor et al., 2009). También es común utilizar términos para describir el grado de aceptabilidad en función del nivel de usabilidad del sistema, empleando términos como "aceptable" o "no aceptable" (Bangor et al., 2008).

2.4. Montaje experimental

Para llevar a cabo esta experimentación, se ha utilizado un sistema compuesto por diferentes elementos tal y como se muestra en la Figura 2.

Los pacientes se colocaron correctamente en sedestación, en su silla de ruedas o en una silla convencional enfrente de una mesa con altura suficiente para que el usuario pudiera acercarse e introducir los miembros inferiores debajo. Sobre la mesa, se ha colocado un tapete trazado con líneas horizontales y verticales, que indican donde situar al paciente y cómo colocar los elementos en los distintos ejercicios de la sesión.

También, sobre la mesa se ha dispuesto de un dispositivo portátil que presenta la plataforma software que contiene el banco de ejercicios representando los movimientos deseados a través de un avatar que ha servido de apoyo y guía a los usuarios.

Para realizar los ejercicios, se colocaron tres sensores MARG en una orientación determinada, como se muestra en la Figura 2 sobre el miembro superior que se ha evaluado y ejecutado las tareas. Ha sido necesario el uso de objetos para realizar los ejercicios, como un vaso, una botella y una caja de diferente altura. Además se ha empleado un pulsador, que el usuario presionó antes de iniciar cada movimiento.

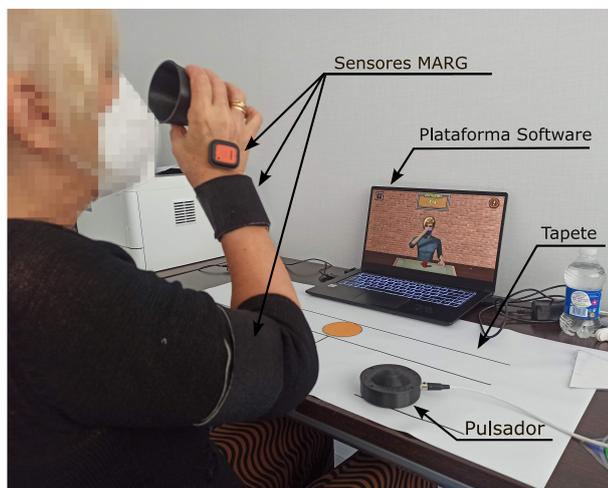


Figure 2: Fotografía del montaje experimental tomada durante la realización de una de los ejercicios

2.5. Protocolo del estudio

Los dos grupos han realizado una única sesión con el sistema de evaluación. Previamente al inicio de las sesiones, todos los participantes fueron debidamente informados y posteriormente, firmaron el consentimiento informado. A continuación, fueron evaluados con la escala clínica FMA, para conocer el grado de afectación de la función motora del miembro superior.

Para poder llevar a cabo la sesión fue necesario realizar una configuración inicial del algoritmo de reconstrucción, en el que los tres sensores MARG se han colocado sobre la mesa de trabajo con unas orientaciones y posiciones determinadas, definidas por la configuración que proporciona el software.

Para utilizar este algoritmo en ambos casos, fue necesario obtener la medida del brazo. Se ha medido manualmente la longitud de la parte superior del brazo, desde la cara lateral hasta la cabeza del radio proximal, en la articulación del codo; y la longitud del antebrazo se midió desde la cabeza del radio proximal hasta el estiloides radial.

Los tres sensores se han colocado mediante cintas de velcro y adhesivos sobre el brazo que ha realizado la evaluación. Uno de los sensores se ha colocado sobre la parte superior del brazo, aproximadamente 5cm por encima del epicóndilo lateral del húmero; otro dispositivo se coloca sobre la parte posterior de la muñeca, y un tercero sobre la parte posterior del carpo. (Bertomeu-Motos et al., 2018).

En la posición inicial, el paciente se colocó intentando que coincidiera la línea media de su cuerpo con la línea vertical mayor del tapete. Las manos fueron colocadas en las dos líneas horizontales próximas al borde de la mesa y situadas a la altura de los hombros; el codo debe de encontrarse a 90°.

Los participantes llevaron a cabo cuatro ejercicios compuestos por varias tareas en las que los usuarios tuvieron que mover activamente el brazo, intentando no compensar el movimiento con otras partes del cuerpo. Realizaron 4 repeticiones de cada tarea y antes de comenzar cada repetición, presionaron con la mano que ejecuta la acción el pulsador. A continuación, se describen los ejercicios realizados según el orden en el que han sido ejecutados:

- Beber y llenar

1. En la primera tarea el usuario procedió a coger el vaso desde la posición central del tapete y acercarlo a la boca simulando la acción de beber.
2. En la tarea de llenar, el usuario alcanzó una botella de agua colocada delante de la posición inicial de la mano que ejecuta la acción, y realizó la simulación de echar agua en el vaso situado en la posición central con un movimiento de pronosupinación.

- Desplazamiento de objeto

1. En la primera tarea el usuario alcanzó el vaso colocado delante de su mano y lo ha colocado encima de una caja situada en la posición central del tapete.
2. El usuario recogió el elemento situado delante de su mano, lo eleva y desplaza hacia el lado contralateral, sorteando la caja en la posición central.
3. Desplazamiento horizontal del objeto situado delante de su mano hacia el lado opuesto.

- Dibujar

El usuario dibujó sobre la mesa con la palma de la mano sobre la línea media o posición central del tapete tres figuras geométricas: 1) Triángulo 2) Cuadrado 3) Círculo.

- Tocar diferentes partes del cuerpo

Para este ejercicio, se alejó la silla del usuario de la mesa unos centímetros, para que el participante pudiera mover libremente el miembro superior sin tocar la mesa.

En este caso, en la posición inicial, el usuario ha situado su mano sobre la parte superior del muslo ipsilateral y tendría que tocar las siguientes partes del cuerpo: 1)Hombro contralateral 2)Rodilla contralateral 3)Zona superior de la cabeza 4) Nariz.

Al finalizar las sesiones, para observar la usabilidad del sistema de evaluación, todos los participantes completaron el cuestionario SUS (Bangor et al., 2009).

Para la valoración del rango articular de los pacientes, a pesar de que el algoritmo de reconstrucción utilizado proporciona los valores articulares correspondientes al modelo cinemático simplificado del brazo humano de 7 grados de libertad (7 variables articulares), se ha desestimado las trayectorias articulares correspondientes a las dos a los movimientos de Flexión/Extensión y Desviación de la muñeca. Esto fue debido a que estas articulaciones no son relevantes para la correcta realización de los ejercicios de valoración correspondientes al protocolo de este estudio.

3. Resultados

3.1. Rangos articulares

En la Figura 3 se muestran los resultados de los Rango de Movimiento (ROM) medios por el sistema de rehabilitación SIVARITA durante la realización de los ejercicios para cada una de las articulaciones de los pacientes. Cabe destacar que estos resultados representan los rangos articulares de los pacientes para las actividades propuestas y no los rangos máximos y mínimos que posee el paciente.

En el análisis post-hoc, la diferencia entre grupos se estudió mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon. Los resultados de esta prueba indican que existe una diferencia significativa entre ambos grupos ($p - value = 0.0054$).

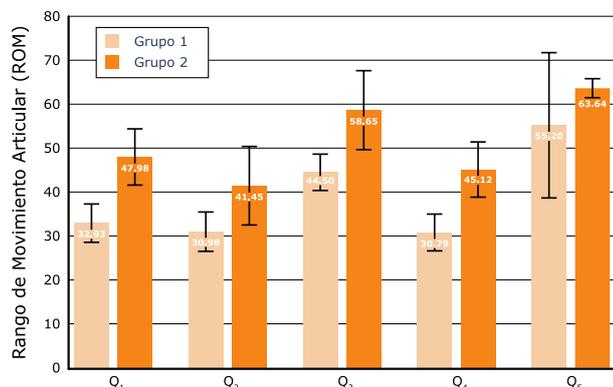


Figure 3: Representación de los resultados del Rango de Movimiento (ROM) medio obtenido para cada una de las articulaciones de los pacientes y separados entre Grupo 1 y Grupo 2. Las barras representan el ROM medio teniendo en cuenta todos los pacientes del grupo, mientras que la barra de error representa la desviación estándar.

3.2. Distancia de trayectoria y porcentaje de éxito

La Figura 4 muestra los resultados de la distancia DTW media de las variables articulares para todos los ejercicios realizados y el porcentaje de éxito del clasificador, representado como el porcentaje de aciertos durante la clasificación de las actividades realizadas.

En el análisis post-hoc, la prueba de rangos con signo de Wilcoxon no muestra diferencias estadísticas entre el Grupo 1 y 2 ni para el caso de la distancia DTW ni para el porcentaje de éxito de la predicción.

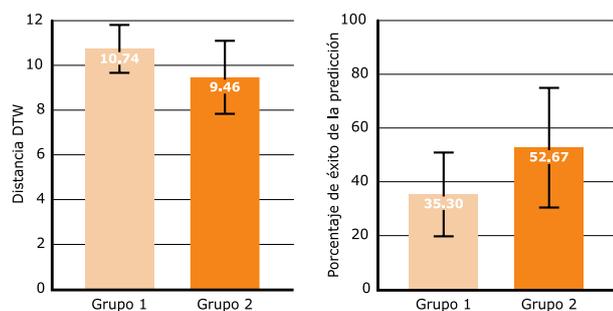


Figure 4: (Izquierda) Representación gráfica de la distancia DTW para el grupo leve y grupo moderado. (Derecha) Representación gráfica del porcentaje de éxito para los grupos leve y moderados.

3.3. Evaluación de la usabilidad del sistema

La Figura 5 muestra los resultados de la evaluación de la usabilidad del sistema en base a la percepción de los pacientes. Los pacientes han evaluado el sistema con una puntuación de 77.08, Excelente, Aceptable.

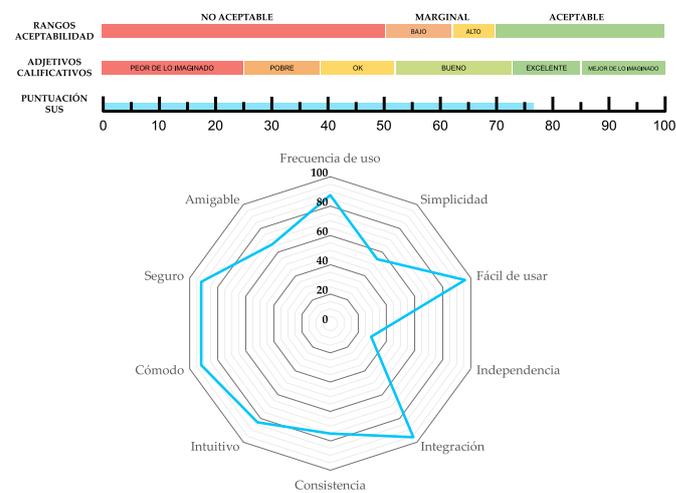


Figure 5: Evaluación de la usabilidad teniendo en cuenta todos los usuarios.

4. Discusión

En los resultados presentados en la Figura 3 se puede observar una diferencia media de 10° aproximadamente en los rangos articulares entre el Grupo 1 y el Grupo 2. Los resultados de estudio estadístico muestran que el Grupo 2 tiene un ROM significativamente mayor al del Grupo 1. Por tanto, los resultados indican que si existe una diferencia apreciable entre ambos grupos. Cabe destacar que los resultados representados de la Figura 3 representan los ROM utilizados por los pacientes para realizar las actividades propuestas y no los rangos máximos y mínimos que posee el paciente.

Por otro lado, en la Figura 4 se aprecia una diferencia de 1,28 en la distancia media DTW y del 20% aproximadamente en el porcentaje de éxito, siendo un indicativo de que los pacientes del Grupo 2 realizan mejor las actividades respecto de los del Grupo 1.

En este punto, podemos concluir que los resultados sugieren que el sistema es capaz de identificar los grupos de usuarios definidos a partir de la escala FMA en base a los parámetros de valoración extraídos. Esto permitiría realizar una evaluación rápida y objetiva de la función motora de los pacientes.

Es importante destacar que los resultados presentados en este estudio son los primeros resultados extraídos de una experimentación todavía en desarrollo, donde queremos realizar un primer estudio exploratorio para comprobar la hipótesis inicial del estudio. Sin embargo, los resultados obtenidos podrían no generalizarse más allá de las condiciones de este estudio. Actualmente estamos ampliando el número de usuarios y evaluando la posible incorporación de nuevos parámetros de evaluación que permitan ofrecer una evaluación aún más objetiva. También estamos evaluando los ejercicios de valoración con el objetivo de realizar un replanteamiento

de cara a poder evaluar también los movimientos de Flexión/Extensión y Desviaciones de la muñeca.

Los resultados obtenidos en el cuestionario SUS muestran que el sistema presentado resulta excelente y aceptable desde el punto de vista de los usuarios; sugiriendo ser cómodo, seguro, intuitivo y fácil de usar, destacando la buena integración del sistema y la frecuencia de uso.

Sin embargo, como aspectos negativos, destaca la ausencia de independencia y de simplicidad. La baja puntuación de la independencia del sistema puede encontrarse sesgada ya que las experimentaciones fueron supervisadas por un terapeuta en todo momento, asistiendo al paciente en la colocación de los sensores, aportando los elementos necesarios para la realización de los ejercicios y dirigiendo el software a lo largo de la sesión. Es decir, no se ha dado la oportunidad al paciente de emplear el sistema con total libertad, pudiendo percibir que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para manejar el sistema.

Por otro lado la falta de simplicidad, puede deberse a la incomprensión por parte del paciente del fin de los ejercicios, realizando tareas de la vida cotidiana muy sencillas, pero integradas en una plataforma software y con sensores portátiles.

5. Conclusiones

En este artículo se evalúa un método novedoso para medir de forma objetiva la calidad de los movimientos ejecutados por los pacientes. Este sistema será capaz de clasificar el movimiento realizado por los pacientes dentro de un grupo de afectación motora específico en función de la calidad del movimiento.

En el presente estudio se presentan los primeros resultados obtenidos a partir de un estudio transversal cuyo objetivo es observar la correlación de este nuevo sistema de evaluación inteligente con la evaluación FMA de miembro superior. Para ello se pretende correlacionar los grupos definidos en función de la escala FMA con los parámetros proporcionados por este sistema de valoración.

Los resultados sugieren que el sistema es capaz de identificar los grupos de usuarios definidos a partir de la escala FMA en base a los parámetros de valoración extraídos. Esto permitiría realizar una evaluación rápida y objetiva de la función motora de los pacientes. Además, se ha obtenido una buena valoración del nivel de usabilidad del sistema, demostrando una buena aceptación por parte de los pacientes objetivos.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración del personal sanitario del Hospital IMED International Center, Cala de Villajoyosa (Alicante). Este trabajo ha sido financiado por el Sistema Nacional de Garantía Juvenil (SNGJ) y el Fondo Social Europeo "El Fondo Social Europeo invierte en tu futuro" a través de la beca EDGJID/2021/075; por la Universidad Miguel

Hernández a través del Programa de Apoyo a la Investigación y Doctorado; por el Ministerio de Universidades y la Unión Europea, "financiado por la Unión Europea - Next Generation EU" a través de la beca postdoctoral Margarita Salas para la formación de jóvenes doctores; y por la Agencia Valenciana de la Innovación, perteneciente a la Generalitat Valenciana, a través del proyecto INNVA1/2021/76.

References

- Bangor, A., Kortum, P., Miller, J., 2009. Determining what individual sus scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies* 4 (3), 114–123.
- Bangor, A., Kortum, P. T., Miller, J. T., 2008. An empirical evaluation of the system usability scale. *Intl. Journal of Human–Computer Interaction* 24 (6), 574–594.
- Bertomeu-Motos, A., Blanco, A., Badesa, F. J., Barrios, J. A., Zollo, L., García-Aracil, N., 2018. Human arm joints reconstruction algorithm in rehabilitation therapies assisted by end-effector robotic devices. *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 15, 1–11.
- Bohannon, R. W., Smith, M. B., 1987. Interrater reliability of a modified ashworth scale of muscle spasticity. *Physical therapy* 67 (2), 206–207.
- Brooke, J., 1996. Sus: a "quick and dirty" usability. Vol. 189. Taylor & Francis.
- Feigin, V. L., Brainin, M., Norrving, B., Martins, S., Sacco, R. L., Hacke, W., Fisher, M., Pandian, J., Lindsay, P., 2022. World stroke organization (wso): global stroke fact sheet 2022. *International Journal of Stroke* 17 (1), 18–29.
- Fugl-Meyer, A. R., Jääskö, L., Leyman, I., Olsson, S., Steglind, S., 1975. The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine* 7 (1), 13–31.
- Gladstone, D. J., Danells, C. J., Black, S. E., 2002. The fugl-meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties. *Neurorehabilitation and neural repair* 16 (3), 232–240.
- Gorelick, P. B., 2019. The global burden of stroke: persistent and disabling. *The Lancet Neurology* 18 (5), 417–418.
- Hsueh, I.-P., Hsu, M.-J., Sheu, C.-F., Lee, S., Hsieh, C.-L., Lin, J.-H., 2008. Psychometric comparisons of 2 versions of the fugl-meyer motor scale and 2 versions of the stroke rehabilitation assessment of movement. *Neurorehabilitation and neural repair* 22 (6), 737–744.
- Langhorne, P., Bernhardt, J., Kwakkel, G., 2011. Stroke rehabilitation. *The Lancet* 377 (9778), 1693–1702.
- Likert, R., 2017. The method of constructing an attitude scale. In: *Scaling*. Routledge, pp. 233–242.
- Maceira-Elvira, P., Popa, T., Schmid, A.-C., Hummel, F. C., 2019. Wearable technology in stroke rehabilitation: towards improved diagnosis and treatment of upper-limb motor impairment. *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 16 (1), 1–18.
- MovellaInc., 2023. XSENS TECHNOLOGIES B.V. <https://www.move11a.com/products/wearables/move11a-dot>, [Online; accessed 30-Mayo-2023].
- Sakoe, H., Chiba, S., 1978. Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing* 26 (1), 43–49.
- See, J., Dodakian, L., Chou, C., Chan, V., McKenzie, A., Reinkensmeyer, D. J., Cramer, S. C., 2013. A standardized approach to the fugl-meyer assessment and its implications for clinical trials. *Neurorehabilitation and neural repair* 27 (8), 732–741.
- SIVARITA, 2022. Sistema Inteligente para la Evaluación de Movimientos Articulares en Rehabilitación Motora y Cognitiva Basado en Wearables con Aplicaciones a Servicios de Telerehabilitación. <https://www.proyecto-sivarita.es/>, [Online; accessed 3-July-2023].
- Veloza, C. A., Woodbury, M. L., 2011. Translating measurement findings into rehabilitation practice: an example using fugl-meyer assessment-upper extremity with patients following stroke. *Journal of Rehabilitation Research & Development* 48 (10).
- Yu, L., Xiong, D., Guo, L., Wang, J., 2016. A remote quantitative fugl-meyer assessment framework for stroke patients based on wearable sensor networks. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 128, 100–110.