

Universidad Miguel Hernández

MÁSTER EN RENDIMIENTO DEPORTIVO Y SALUD



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

**Evaluación Biomecánica del Equilibrio, la Marcha y la Debilidad Muscular,
Mediante Sensores Inerciales Integrados en el Smartphone y Dinamometría
Portátil para la Caracterización del Deterioro Físico en Personas con Esclerosis
Múltiple en Diferentes Etapas de la Enfermedad.**

Estudiante:

Edith Del Carmen García Brito

Tutor:

Francisco David Barbado Murillo

Trabajo de fin de máster 2023-2024

Evaluación Biomecánica del Equilibrio, la Marcha y la Debilidad Muscular, Mediante Sensores Inerciales Integrados en el Smartphone y Dinamometría Portátil para la Caracterización del Deterioro Físico en Personas con Esclerosis Múltiple en Diferentes Etapas de la Enfermedad.



Índice

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
Problema de investigación	9
Objetivos	10
MÉTODO	10
Materiales y métodos	10
Test de símbolos y dígitos (SDMT)	11
Cuestionarios generales de actividad física	11
Tareas de equilibrio y marcha con smartphone	11
Diseño del Estudio	12
Limitaciones de la investigación	12
BIBLIOGRAFÍA	13



Resumen

Las enfermedades neurodegenerativas como la esclerosis múltiple (EM) causan deterioro neurológico progresivo, afectando la independencia y funcionalidad de las personas. La EM implica factores genéticos y ambientales que activan el sistema inmune, resultando en desmielinización y daño neuronal. Es más común en mujeres y ciertas etnias y es una causa importante de discapacidad en adultos jóvenes. La progresión de la EM puede ocurrir sin brotes clínicos (PIRA), lo que destaca la necesidad de controlar la inflamación desde el inicio. La resonancia magnética (RM) es crucial para la monitorización de la enfermedad, pero tiene limitaciones en el seguimiento rutinario. Las evaluaciones neurológicas regulares que se desempeñan en la actualidad muestran una limitada sensibilidad para detectar cambios sutiles en la evolución de la enfermedad.

Las herramientas biomecánicas y tecnologías digitales, como aplicaciones móviles, pueden ofrecer evaluaciones más precisas de la función motora. De entre ellas, destacan la dinamometría como herramienta fiable y sensible para medir la fuerza muscular. La fatiga es un síntoma incapacitante y puede estar relacionada con procesos inflamatorios y disfunción del sistema nervioso autónomo. Este estudio busca implementar herramientas biomecánicas para evaluar la discapacidad en pacientes con EM, resaltando la necesidad de métodos más sensibles y accesibles para mejorar la monitorización y tratamiento de la enfermedad.

Palabras claves:

Esclerosis múltiple; PIRA; atrofia cerebral; enfermedad neurodegenerativa; progresión de la discapacidad; neurodegeneración; evolución independiente de la recaída, variabilidad de la frecuencia cardíaca, dinamometría manual, registro de marcha y equilibrio en pacientes con esclerosis múltiple.

Summary

Neurodegenerative diseases like multiple sclerosis (MS) cause progressive neurological impairment, affecting individuals' independence and functionality. MS involves genetic and environmental factors that trigger the immune system, leading to demyelination and neuronal damage. It is more common in women and certain ethnic groups and is a significant cause of disability in young adults. MS progression can occur without clinical relapses (PIRA), emphasizing the need to control inflammation from the onset. Magnetic resonance imaging (MRI) is crucial but has limitations for routine monitoring. Regular neurological evaluations lack the sensitivity to detect subtle changes.

Biomechanical tools and digital technologies, such as mobile applications, may offer more precise assessments. Dynamometry is reliable for measuring muscle strength. Fatigue is a disabling symptom and may be related to inflammatory processes and autonomic nervous system dysfunction. This study aims to implement biomechanical

tools to assess disability in MS patients, highlighting the need for more sensitive and accessible methods to improve disease monitoring and treatment.

Keywords

Multiple sclerosis; PYRE; brain atrophy; neurodegenerative disease; disability progression; neurodegeneration; Independent evolution of relapse, heart rate variability, manual dynamometry, gait and balance recording in patients with multiple sclerosis.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades neurodegenerativas se caracterizan por deterioros neurológicos progresivos que conllevan a una disminución en la independencia y funcionalidad de las personas afectadas (De Moura et al., 2024). Por consiguiente, requieren atención integral y continua, y un abordaje multidisciplinar. Un ejemplo de enfermedades neurodegenerativas es la esclerosis múltiple.

La esclerosis múltiple (EM) es una enfermedad donde interaccionan factores genéticos y ambientales que culminan en una cascada de eventos, dónde interviene la activación del sistema inmune adaptativo e innato, y se caracteriza por la desmielinización del sistema nervioso central, daño axonal y neuronal que tiene grados variables de reparación (Nourbakhsh, et al., 2019). La prevalencia de EM en las últimas décadas ha aumentado, y por ende los costes de la atención. Se ha documentado que el riesgo de discapacidad es mayor en personas negras, asiáticos e hispanos (Ward et al., 2022), y a lo largo de la historia se ha evidenciado que la prevalencia e incidencia es mayor en el sexo femenino 3:1, es la causa mayor de discapacidad no traumática en adultos jóvenes de entre 20 a 40 años de edad, esto hace que tenga un impacto en la calidad de vida y un coste sanitario mayor; pero también puede presentarse en niños llamada EM de inicio pediátrico (POMS, pediatric onset multiple sclerosis) (Maestre et al., 2021). En estudios de la demografía de la EM se reconoce que la prevalencia femenina es conocida y las evaluaciones del sexo masculino han sido evaluadas de manera menos específica, y no se encontraron diferencias clínicas ni demográficas estadísticamente significativas (Luetic et al., 2022).

Los resultados en la investigación de Bravo et al. (2019), señalan que los pacientes estudiados reconocen la progresión de su enfermedad y el consiguiente deterioro. Los sujetos del estudio identificaron la movilidad como la capacidad física principal pérdida, aunque también hacen referencia a la fatiga, el equilibrio y la coordinación como áreas afectadas.

Se ha descrito una progresión independiente de la actividad recurrente (PIRA, por sus siglas en inglés (progresión independiente de la actividad de brotes o progresión al margen de los brotes) desde las etapas tempranas de la esclerosis múltiple recurrente (EMR). Este fenómeno implica que la progresión de la discapacidad puede ocurrir sin la presencia de brotes clínicos evidentes. La PIRA representa una forma insidiosa de avance

de la enfermedad que puede ser fácilmente subestimada si solo se considera la frecuencia de las recaídas como indicador de la progresión (Maarouf et al., 2024). Estudios recientes, incluyendo el trabajo de (Maarouf et al., 2024), han demostrado que la actividad inflamatoria en las fases iniciales de la EMR aumenta el riesgo de desarrollar PIRA. Estos hallazgos sugieren que controlar la inflamación desde las primeras etapas de la enfermedad, se podría reducir el riesgo de progresión independiente de la actividad recurrente. Esto subraya la importancia de estrategias terapéuticas proactivas que no solo se centren en la prevención de brotes clínicos, sino también en la reducción de los procesos inflamatorios subyacentes que contribuyen a la progresión silenciosa de la enfermedad (Maarouf et al., 2024).

La esclerosis múltiple (EM) remitente-recurrente y la progresiva, que anteriormente se consideraban mutuamente excluyentes, ahora se reconocen como entidades con un considerable solapamiento. Esta nueva perspectiva sugiere que la progresión de la enfermedad es consecuencia de múltiples elementos patológicos, cada uno de los cuales contribuye de manera significativa a la evolución de la EM. En este contexto, la resonancia magnética (RM) se encuentra en una posición privilegiada para evaluar los procesos patogénicos subyacentes que impulsan la progresión de la EM. Sin embargo, es crucial cerrar la brecha existente entre las medidas obtenidas mediante RM y los resultados clínicos observados en los pacientes (Ananthavarathan et al., 2024).

A pesar de la sensibilidad de la RM para detectar lesiones en el cerebro y la médula espinal, sigue existiendo incertidumbre sobre cuáles técnicas utilizar en el diagnóstico y el seguimiento (Caparó et al., 2022). Una de las limitaciones que presenta la RM para detectar lesiones desmielinizantes en la EM, es que se detectan las lesiones significativas, cuando las lesiones pasan de agudas a crónicas, debido a que existen acumulaciones de hierro en la microglía y los macrófagos que se encuentran presentes en las lesiones (Caruana et al., 2022). En la actualidad existen evidencias de la relevancia de la RM medular en el diagnóstico y el pronóstico de la EM, aunque no hay datos suficientes que evidencien su uso para realizar de manera rutinaria el seguimiento de los pacientes con EM, con el fin de detectar actividad de la enfermedad (Cañellas et al., 2022). La RM actualmente no se encuentra recomendada como forma rutinaria en el seguimiento de los pacientes, exceptuando los casos en que se evidencia clínica que cumpla criterios para su realización (Caparó et al., 2022).

A pesar de los grandes avances que se han producido en el diagnóstico de la EM, se han producido pocos cambios en el seguimiento clínico (Cerqueira et al., 2018). La falta de tiempo y espacio en la práctica clínica limita la valoración de síntomas invisibles y ciertos síntomas motores como la capacidad de la marcha, que tiene un gran impacto en la situación funcional del paciente. La implementación efectiva de herramientas y test más sensibles requiere no solo la validación de los marcadores identificados como las bandas oligoclonales en LCR (Meca et al., 2023), sino también el desarrollo de protocolos clínicos que integren estas nuevas tecnologías de manera eficiente y efectiva. Al hacerlo, se puede mejorar sustancialmente la capacidad de los profesionales de la salud para

predecir y gestionar la progresión de la EM, ofreciendo a los pacientes una atención más personalizada y eficaz (Ananthavarathan, et al., 2024).

Entre los déficits neurológicos asociados a la progresión de la esclerosis múltiple, destaca el deterioro de la marcha y los problemas del equilibrio, lo que no solo reduce la independencia funcional, sino que incrementa el riesgo de caídas. Se estima que el 50% de las personas con EM necesitarán un dispositivo de ayuda para la deambulación dentro de los 10 primeros años del diagnóstico, lo que puede reducir el riesgo de caídas, el esfuerzo y el estrés musculoesquelético (Regev et al., 2024). Asimismo, las personas con esclerosis múltiple suelen experimentar debilidad muscular (pérdida de fuerza) que impacta diversas actividades de su vida diaria, especialmente aquellas que dependen del equilibrio y la marcha (Kalron et al., 2017). Las evaluaciones típicas en la práctica clínica diaria en las alteraciones del equilibrio son subjetivas. Los investigadores han utilizado métodos biomecánicos para permitir una medición más accesible y objetiva del control postural para su uso en la evaluación del equilibrio (Meyer et al., 2023). La relevancia de los problemas de movilidad en esta población resalta la necesidad de disponer de herramientas de medición clínica que sean válidas, fiables, sensibles y prácticas, el potencial de la evaluación digital de la marcha que podrían ayudar significativamente la monitorización tradicional de la enfermedad y apoyar la toma de decisiones clínicas. En la actualidad, test de campo como la prueba Timed Up-and-Go (TUG) son medidas que se utilizan a nivel clínico para valorar la movilidad funcional y monitorear la progresión (Pau et al., 2020). El seguimiento habitual de los pacientes con esclerosis múltiple en la práctica clínica consiste en revisiones periódicas con el neurólogo cada 6 meses. Durante estas consultas, se realizan exploraciones físicas para evaluar los síntomas motores y cognitivos, y se utilizan escalas de autovaloración del paciente (PROMs). Sin embargo, estas valoraciones observacionales tienen sus limitaciones, como la falta de sensibilidad para detectar cambios sutiles en la sintomatología. Por esta razón, se hace necesario el uso de test que evalúen las diferentes cualidades mediante herramientas biomecánicas y test de campo, los cuales podrían ser más sensibles para identificar cambios imperceptibles que podrían pasarse por alto en una consulta convencional (Shanahan et al., 2018).

Las alteraciones axonales que ocurren en la esclerosis múltiple (EM) disminuyen la velocidad de conducción axonal, lo que a su vez reduce la función mecánica muscular. Esto afecta la fuerza isométrica, la fuerza dinámica, la fuerza explosiva y la potencia muscular. Estas disminuciones en la fuerza influyen en el rendimiento a la marcha y el equilibrio. El Gold Standard para la medición de la fuerza muscular es la dinamometría isocinética, debido a su alta fiabilidad (Jørgensen et al., 2017). Los dinamómetros manuales se presentan como una alternativa a los dinamómetros isocinéticos son simples, portátiles, económicos y pueden usarse a nivel clínico (Sung et al., 2019). Los dinamómetros manuales se han vuelto una herramienta cada vez más utilizada para evaluar la fuerza muscular en pacientes con esclerosis múltiple (EM). Estos dispositivos son valorados por su confiabilidad y su capacidad para medir la fuerza muscular de manera no invasiva, generando datos cuantitativos esenciales para monitorear tanto la

progresión de la enfermedad como la efectividad de los tratamientos implementados (Sayig et al., 2021). Las pruebas isocinéticas se consideran una forma segura y fiable de evaluar objetivamente la función neuromuscular en pacientes con esclerosis múltiple. Estas pruebas miden la fuerza y la resistencia muscular en un rango específico de movimiento.

La fatiga es un síntoma incapacitante de la esclerosis múltiple, en la actualidad se sigue investigando las causas biológicas debido a que aún no se comprenden completamente. Desde hace varios años, se ha considerado que la fatiga podría ser la manifestación subjetiva de los procesos inflamatorios. Esto ha abierto el paso a evaluar un modelo que asocia el nivel de fatiga con la activación vagal (Garis et al., 2022). La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es un índice sencillo y objetivo para evaluar el funcionamiento del sistema nervioso autónomo (SNA), y se ha utilizado anteriormente para investigar la relación entre el SNA y la carga sintomática en otras enfermedades crónicas (Pilloni et al., 2024). En la esclerosis múltiple se ha detectado que los pacientes presentaban una menor variabilidad de la frecuencia cardíaca en comparación con los controles sanos. Esto se reflejó en la disfunción de los parámetros parasimpáticos y simpáticos observada en el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Damla et al., 2018).

En base a la potencialidad que tienen las herramientas biomecánicas para valorar de forma sensible y precisa distintas alteraciones y síntomas asociados a la esclerosis múltiple, el objetivo de este estudio es describir los valores de normalidad de una muestra de personas sin esclerosis múltiple que puedan servir de referencia para dicha enfermedad. Concretamente, en el presente trabajo de fin de máster, se ha realizado una valoración integral que incluye: 1) PROMs (fatiga, y vértigo), 2) una prueba de rendimiento cognitivo, 3) valoración del equilibrio y la marcha mediante una app integrada en el smartphone, 4) valoración de la fuerza muscular isométrica del tren inferior mediante galgas de fuerza, 5) valoración de la potencia del tren inferior mediante análisis de video en 2D, y 6) análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca mediante pulsometría.

En la búsqueda de métodos más fiables, válidos, accesibles y económicos a la hora de realizar mediciones surgió la idea de implementar la biomecánica como método de seguimiento en los pacientes con EM. El presente estudio se enfoca en la implementación de diversos instrumentos, con mayor o menor sensibilidad, buscan identificar la progresión de la esclerosis múltiple. Algunas de estas herramientas aún no han sido introducidas en la práctica clínica diaria.

Problema de investigación

La esclerosis múltiple es una enfermedad que puede evolucionar sin presentar hallazgos evidentes en métodos por imagen como la resonancia magnética. Dado que el

diagnóstico temprano y el inicio del tratamiento son fundamentales para retrasar la progresión de la discapacidad y mejorar la calidad de vida. ¿Qué métodos biomecánicos pueden implementarse para una detección temprana de una posible evolución negativa de la enfermedad cuando no se evidencian alteraciones en la resonancia magnética?

La esclerosis múltiple es una enfermedad que puede evolucionar sin presentar hallazgos evidentes en métodos por imagen como la resonancia magnética. Dado que el diagnóstico temprano y el inicio del tratamiento son fundamentales para retrasar la progresión de la discapacidad y mejorar la calidad de vida. ¿Qué métodos biomecánicos pueden implementarse para una detección temprana de una posible evolución negativa de la enfermedad cuando no se evidencian alteraciones en la resonancia magnética?

Objetivos

- Proporcionar datos del equilibrio, marcha, fuerza del tren inferior y variabilidad de la frecuencia cardiaca de personas sin esclerosis múltiple que puedan servir de referencia como valores de normalidad.
- Comparar los datos anteriormente mencionados con una muestra de pacientes ambulatorios con esclerosis múltiple en estadios iniciales de la enfermedad.

MÉTODO

Participantes

En este estudio participaron voluntariamente 9 personas que conformaron el grupo control sin esclerosis múltiple (tabla 1), miembros de la comunidad universitaria. Los participantes rellenaron un cuestionario para conocer su historial médico, su estado actual de salud, hábitos tóxicos y su práctica habitual de actividad físico-deportiva. A los participantes se les informó que debían cesar con su práctica habitual de actividad física y el consumo de energizantes, las 24 horas previas a la intervención. Los datos obtenidos serán utilizados como valores de referencia provisionales con los que comparar personas con esclerosis múltiple de edad y sexo similar en estadios iniciales de la enfermedad. Concretamente, para el presente trabajo final de máster, los datos se compararon con los datos de 10 personas con esclerosis valoradas en el proyecto “Evaluación biomecánica del equilibrio, la marcha y la debilidad muscular mediante sensores inerciales integrados en el smartphone y dinamometría portátil para la caracterización del deterioro físico en personas con esclerosis múltiple en diferentes etapas de la enfermedad. Un estudio transversal” (EXP_77443) dirigido por el profesor David Barbado.

TABLA 1

<i>Características demográficas del grupo control.</i>	<i>Media ± DT</i>
Femenino/masculino	2/7
Edad (años)	28.11 ± 5.84
Altura (cm)	173.7 ± 12.0

DT: Desviación típica.

Todos los participantes recibieron información sobre el objetivo y el protocolo experimental del estudio y firmaron un consentimiento informado aprobado por el comité de ética Comité de Ética para la Investigación con medicamentos del Departamento de Salud de Alicante – Hospital General, (PI2023-055), ratificado para el presente trabajo final de máster por el comité de ética el de la universidad Miguel Hernández de Elche (231205130559) de acuerdo con la Declaración de Helsinki (2013).

Procedimientos

Las intervenciones valoradas, constó de protocolos de evaluación, que se realizó en una sesión de valoración. La sección se realizó en un día (aproximadamente 1 hora y media). Durante la intervención se valoró el test de símbolos y dígitos (SDMT), cuestionarios generales de actividad física, donde se incluyó tanto la actividad física realizada en los últimos 20 años, la actual, de alta intensidad, moderada intensidad y la caminata, escala modificada de impacto de fatiga (MFIS), equilibrio percibido/vértigo: inventario de dificultades para el mareo (DHI), tareas de equilibrio y marcha con smartphone, prueba funcional de la marcha y la evaluación de la fuerza- 5-SIT TO STAND TEST. Los participantes tuvieron un descanso de 1 min entre cada uno de los test. La sesión tuvo una duración aproximada de 120 minutos.

Test de símbolos y dígitos (SDMT)

El test de Símbolos y Dígitos (SDMT) es una herramienta prominente y ampliamente utilizada en la evaluación neuropsicológica, especialmente para medir la velocidad de procesamiento de información en diversas condiciones neurológicas, como la esclerosis múltiple (EM). Recientemente, se ha destacado la importancia del SDMT en la práctica clínica y en la investigación, particularmente en su capacidad para detectar disfunciones cognitivas relacionadas con la EM (Fellows et al 2019).

Cuestionarios generales de actividad física

La evaluación de la actividad física mediante cuestionarios ha sido un área de investigación activa, y se han desarrollado diversos instrumentos para medir con precisión

los niveles de actividad física en diferentes poblaciones. Los cuestionarios son fáciles de aplicar en grandes grupos de individuos y, por lo tanto, son el método básico para evaluar la AF en grandes estudios epidemiológicos. Sin embargo, este método está sujeto a un sesgo de recuerdo, que generalmente conduce a una sobreestimación (Sember et al., 2020).

Tareas de equilibrio y marcha con smartphone

El uso de smartphones para evaluar tareas de equilibrio y marcha pueden ser herramientas válidas y confiables para medir parámetros de equilibrio y marcha, lo cual es esencial para la evaluación y rehabilitación. Pueden ser útiles en la práctica clínica para detectar déficits de marcha y equilibrio y seguir la efectividad de los programas de rehabilitación. Estos avances en la tecnología móvil no solo mejoran la precisión de las evaluaciones, sino que también permiten una monitorización remota y continua, lo cual es particularmente beneficioso para pacientes con dificultades de movilidad (Rashid et al., 2021). Tareas asociadas: pararse sobre una superficie firme con los ojos abiertos, pararse sobre una superficie firme con los ojos cerrados, pararse sobre una superficie flexible con los ojos abiertos, caminar en línea recta, caminar en línea recta mientras giran la cabeza de lado a lado y caminar en línea recta mientras hace tarea dual, mencionado palabras mientras camina.

Timed Up-and-Go (TUG)

Estas son medidas que se utilizan a nivel clínico para valorar la movilidad funcional de las personas con esclerosis múltiple, porque evalúa no solo la capacidad de caminar, sino también la de levantarse de una silla y girar alrededor de un objeto. La prueba TUG es una herramienta excelente para evaluar las capacidades de movilidad en personas con EM, monitorear la progresión de la enfermedad e identificar posibles caídas (Pau et al., 2020).

5-Sit to stand to sit

Consistió en medir los segundos que necesitaba el sujeto para, desde una posición de sentado, levantarse con sus manos cruzadas en el pecho y volver a sentarse 5 veces consecutivas. El test se realizó en una silla sin apoyabrazos de unos 50 cm de altura, apoyada en la pared para minimizar el riesgo de caída durante la prueba. Tras realizar las 5 repeticiones se registró el tiempo empleado.

Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca mediante pulsioximetría

Actualmente existen estudios que han demostrado que los pacientes con esclerosis múltiple presentan una disminución significativa en la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) en comparación con individuos sanos. Esta reducción se ha asociado con una mayor actividad simpática y una disminución de la actividad parasimpática, lo que indica un desequilibrio autonómico (Garis, G., et al 2022). La VFC puede ser utilizada para monitorizar la progresión de la enfermedad y la respuesta a los tratamientos en EM (Arakaki, X., et al 2023). La medición de la VFC ofrece una herramienta potencial para

el seguimiento clínico y la evaluación de la eficacia de los tratamientos en estos pacientes. Este enfoque multidimensional de la VFC en la EM puede proporcionar nuevas vías para mejorar la calidad de vida de los afectados por esta enfermedad

Análisis y reducción de datos

Se obtuvieron datos a partir de la media y la desviación estándar de la altura (cm), peso (kg) y edad (años). En el test TUG, se consideró el promedio de los dos mejores intentos de cada participante. La máxima fuerza isométrica (N) en la abducción y aducción de cadera, así como el máximo momento de fuerza isométrico e isocinético de la musculatura extensora y flexora de rodilla, se calcularon utilizando el mejor valor obtenido a lo largo de las series. En el test de Símbolos y Dígitos (SDMT), se evaluó la rapidez con la que los participantes podían asociar correctamente símbolos y dígitos, con el objetivo de medir la función cognitiva y la velocidad de procesamiento mental en personas con esclerosis múltiple. Los datos de los test de equilibrio y marcha se compararon con estándares establecidos para determinar si los parámetros se encontraban dentro de los rangos normales o si existían problemas de estabilidad o dificultades motoras relacionadas con condiciones neurológicas.

Análisis estadísticos

Se calcularon los datos estadísticos (media y desviación típica) de las variables. Con objeto de analizar si los datos cumplían con el supuesto de normalidad, se realizó una prueba de Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente, se realizó una prueba T de Student para muestras independientes con el fin de determinar si hay diferencias significativas entre el grupo control y el grupo de pacientes con esclerosis múltiple. Se tomó en cuenta si la no se cumple la normalidad se usarían pruebas no paramétricas.

Diseño del Estudio

El presente estudio se diseñó para evaluar estrategias de intervención que permitan conocer la evolución de la esclerosis múltiple, mediante el uso de pruebas que valoren la fuerza muscular, el equilibrio y la marcha. Para ello, se utilizaron evaluaciones con dinamómetro isocinético portátil, tareas de equilibrio y marcha con smartphone.

Limitaciones de la investigación

El estudio que inicialmente fue diseñado con el propósito de implementar métodos nuevos de seguimiento en la población afectada de EM y que actualmente se está llevando a cabo como un estudio transversal.

Para abordar estas limitaciones y obtener una comprensión más completa y detallada de las diferencias que pueden surgir a lo largo del tiempo, se debería considerar la conversión de este estudio en uno de cohorte prospectivo. Un estudio de cohorte implica seguir a un grupo de individuos durante un período extendido, observando y registrando cómo las variables de interés cambian y se desarrollan. Con el fin de identificar las tendencias, patrones y relaciones causales que no pueden ser detectados mediante un estudio transversal.

La conversión a un estudio de cohorte permitirá una comprensión más profunda y rica de las diferencias y cambios a largo plazo. Esta transición facilitará la identificación de patrones temporales, la evaluación de efectos prolongados y la obtención de información crítica para el desarrollo de estrategias efectivas y basadas en evidencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Ananthavarathan, P., Sahi, N., & Chard, D. T. (2024b). An update on the role of magnetic resonance imaging in predicting and monitoring multiple sclerosis progression. *Expert Review Of Neurotherapeutics*, 24(2), 201-216. <https://doi.org/10.1080/14737175.2024.2304116>
- Antón, E. (2015). Revisión de la esclerosis múltiple (2). Diagnóstico y tratamiento. *SEMERGEN. Sociedad Española de Medicina Rural y Generalista*, 41(6), 324-328. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2014.07.011>
- Arakaki, X., Arechavala, R. J., Choy, E. H., Bautista, J., Bliss, B., Molloy, C., Wu, D., Shimojo, S., Jiang, Y., Kleinman, M. T., & Kloner, R. A. (2023). The connection between heart rate variability (HRV), neurological health, and cognition: A literature review. *Frontiers In Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1055445>
- Armstrong, L. E., Winant, D. M., Swasey, P. R., Seidle, M. E., Carter, A. L., & Gehlsen, G. (1983). Using Isokinetic Dynamometry to Test Ambulatory Patients with Multiple Sclerosis. *Physical Therapy*, 63(8), 1274-1279. <https://doi.org/10.1093/ptj/63.8.1274>
- Bravo-Gonzales, F., Alvarez-Roldan, A. 21 oct 2019. Esclerosis múltiple, pérdida de funcionalidad y género. Vol 33 (2), 177-184. Esclerosis múltiple, pérdida de funcionalidad y género (isciii.es)
- Caparó-Zamalloa, C., Cabrejo-Bravo, J. A., Castañeda-Barba, C., Escalante, J. C., Cruz-Cruz, A., Dueñas-Pacheco, I., Escalante-Narrea, D., Escalante-Rojas, R., Gonzalez-Mujica, J., Guevara-Vidal, A., Huamani, C., Nisiamá-Vera, J. C., Pérez-Alviz, C. A., Rodríguez-Kadota, L. E., & Vega-Wong, P. A. (2022b). Consenso peruano para el uso de la resonancia magnética en el diagnóstico y seguimiento de pacientes con esclerosis múltiple. *Revista de Neuro-Psiquiatría/Revista de Neuro-psiquiatría*, 85(2), 95-106. <https://doi.org/10.20453/rnp.v85i2.4227>

- Caruana, G., Acosta, D. C. A., Ferreira, L. M. P., Miranda, W. C., Salerno, D. A., De Barros, D. A., Jaume, J. G., Gairín, X. M., & Cañellas, A. R. (2022, 26 mayo). Imágenes RM ponderadas en susceptibilidad magnética como alternativa al contraste paramagnético para identificar lesiones agudas en pacientes con esclerosis múltiple. <https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/8433>
- Damla, O., Altug, C., Pinar, K. K., Alper, K., Dilek, I. G., & Kadriye, A. (2018). Heart rate variability analysis in patients with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis And Related Disorders*, 24, 64-68. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2018.06.012>
- De Moura, J., Jorge, N. B., & Da Coruña Facultad de Informática, U. (2024, 1 febrero). Sistema automático de detección y clasificación de enfermedades neurodegenerativas mediante análisis de la retina en tomografía de coherencia óptica. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/35991>
- Fellows, R. P., & Schmitter-Edgecombe, M. (2019). Symbol Digit Modalities Test: Regression-Based Normative Data and Clinical Utility. *Archives Of Clinical Neuropsychology*, 35(1), 105-115. <https://doi.org/10.1093/arclin/acz020>
- Garis, G., Haupts, M., Duning, T., & Hildebrandt, H. (2022). Heart rate variability and fatigue in MS: two parallel pathways representing disseminated inflammatory processes? *Neurological Sciences*, 44(1), 83-98. <https://doi.org/10.1007/s10072-022-06385-1>
- Jørgensen, M., Dalgas, U., Wens, I., & Hvid, L. (2017). Muscle strength and power in persons with multiple sclerosis – A systematic review and meta-analysis. *Journal Of The Neurological Sciences*, 376, 225-241. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2017.03.022>
- Luetic, G. G., Menichini, M. L., Vrech, C., Pappolla, A., Patrucco, L., Cristiano, E., Marrodán, M., Ysraelit, M. C., Fiol, M., Correale, J., Cohen, L., Alonso, R., Silva, B., Casas, M., Garcea, O., Deri, N., Burgos, M., Liwacki, S., Tkachuk, V., . . . Rojas, J. I. (2022). Clinical and demographic characteristics of male MS patients included in the national registry-RelevarEM. Does sex or phenotype make the difference in the association with poor prognosis? *Multiple Sclerosis And Related Disorders*, 58, 103401. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2021.103401>
- Maarouf, A., Stellmann, J. P., Rico, A., Boutiere, C., Demortiere, S., Durozard, P., Zaaraoui, W., Ranjeva, J., Pelletier, J., & Audoin, B. (2024). Active and non-active progression independent of relapse activity within the first 20 years of relapsing multiple sclerosis. *Journal Of Neurology, Neurosurgery And Psychiatry*, jnnp-333597. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2024-333597>
- Meca-Lallana, J., Yélamos, S. M., Eichau, S., Llana, M., Martínez, J. M., Martínez, J. P., Lallana, V. M., Torres, A. A., Torres, E. M., Río, J., Calles, C., Luque, A. A., Ramió-Torrentà, L., Sola, M. M., Prieto, J., Ginés, M. M., Arroyo, R., Martínez, M. O., Ruiz, L. B., . . . Oreja-Guevara, C. (2024). Documento de consenso de la Sociedad Española de Neurología sobre el tratamiento de la esclerosis múltiple y manejo holístico del paciente

2023. *Neurología*, 39(2), 196-208. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2023.06.001> Meyer, B. M., Cohen, J. G., Donahue, N., Fox, S. R., O'Leary, A., Brown, A. J., Leahy, C., VanDyk, T., DePetrillo, P., Ceruolo, M., Cheney, N., Solomon, A. J., & McGinnis, R. S. (2023). Chest-Based Wearables and Individualized Distributions for Assessing Postural Sway in Persons With Multiple Sclerosis. *IEEE Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering*, 31, 2132-2139. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2023.3267807>
- Midaglia, L., Sastre-Garriga, J., & Montalban, X. (2021). Monitorización clínica del paciente con esclerosis múltiple a través de la tecnología digital, un campo en plena revolución. *Revista de Neurología/Revista de Neurología Electrónica*, 73(06), 210. <https://doi.org/10.33588/rn.7306.2021136>
- Nourbakhsh, B., & Mowry, E. M. (2019). Multiple Sclerosis Risk Factors and Pathogenesis. *Continuum*, 25(3), 596-610. <https://doi.org/10.1212/con.0000000000000725>
- Pilloni, G., Best, P., Kister, I., & Charvet, L. (2024). Heart Rate Variability (HRV) serves as an objective correlate of distress and symptom burden in multiple sclerosis. *International Journal Of Clinical And Health Psychology*, 24(2), 100454. <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2024.100454>
- Rashid, U., Barbado, D., Olsen, S., Alder, G., Elvira, J. L. L., Lord, S., Niazi, I. K., & Taylor, D. (2021). Validity and Reliability of a Smartphone App for Gait and Balance Assessment. *Sensors*, 22(1), 124. <https://doi.org/10.3390/s22010124>
- Regev, K., Eren, N., Yekutieli, Z., Karlinski, K., Massri, A., Vigiser, I., Kolb, H., Piura, Y., & Karni, A. (2024). Smartphone-based gait assessment for multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis And Related Disorders*, 82, 105394. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2023.105394>
- Rojas, J. I., Patrucco, L., & Cristiano, E. (s. f.). (2019). Evaluación clínica y por imágenes de la esclerosis múltiple progresiva. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802019000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Saygin, D., Oddis, C. V., Moghadam-Kia, S., Rockette-Wagner, B., Neiman, N., Koontz, D., & Aggarwal, R. (2020). Hand-held dynamometry for assessment of muscle strength in patients with inflammatory myopathies. *Rheumatology*, 60(5), 2146-2156. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keaa419>
- Shanahan, C. J., Boonstra, F. M. C., Lizama, L. E. C., Strik, M., Moffat, B. A., Khan, F., Kilpatrick, T. J., Van Der Walt, A., Galea, M. P., & Kolbe, S. C. (2018). Technologies for Advanced Gait and Balance Assessments in People with Multiple Sclerosis. *Frontiers In Neurology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00708>
- Sember, V., Meh, K., Sorić, M., Starc, G., Rocha, P., & Jurak, G. (2020). Validity and Reliability of International Physical Activity Questionnaires for Adults across EU Countries: Systematic Review and Meta Analysis. *International Journal Of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7161. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197161>

Sung, K. S., Yi, Y. G., & Shin, H. I. (2019). Reliability and validity of knee extensor strength measurements using a portable dynamometer anchoring system in a supine position. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2703-0>

Ward, M., & Goldman, M. D. (2022). Epidemiology and Pathophysiology of Multiple Sclerosis. *Continuum*, 28(4), 988-1005. <https://doi.org/10.1212/con.0000000000001136>

