

Evaluación funcional en esclerosis múltiple mediante tecnología portátil: Detección de problemas en fases iniciales



Máster Universitario Rendimiento Deportivo y Salud

Universidad Miguel Hernández

2024/2025

Autor: María Andreu Moreno
Tutor: David Barbado Murillo

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
MÉTODO.....	6
<i>Participantes.....</i>	<i>6</i>
<i>Procedimiento.....</i>	<i>6</i>
<i>Herramientas.....</i>	<i>7</i>
Gait&Balance	7
Velocidad de la Marcha.....	8
Inventario de Discapacidad por Mareo (DHI).....	8
Five Times Sit To Stand Test (FTSST).....	8
<i>Análisis Estadístico.....</i>	<i>9</i>
Agradecimientos.....	10
Referencias	11

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades neurodegenerativas representan un desafío global de salud pública, con una incidencia que está en constante aumento (GBD 2019 Stroke Collaborators, 2021). Se considera que estas patologías pueden originarse a partir de la interacción de tres factores principales: genéticos, epigenéticos y ambientales. Sin embargo, aunque en algunos casos se han identificado factores genético o ambientales implicados, la causa exacta aún no se comprende por completo en la mayoría de casos (Agnello & Ciaccio, 2022). La enfermedad de Parkinson (EP), Esclerosis Múltiple (EM) y Accidente Cerebrovascular (AC) se encuentran entre las enfermedades neurodegenerativas del sistema nervioso central más frecuentes. La EP es la segunda enfermedad neurológica más común en el mundo y causa altas tasas de discapacidad y necesidad de cuidado, se estima que en 2019 había más de 8,5 millones de personas tenían EP (Organización Mundial de la Salud, 2023b). La EM puede afectar a personas de todas las edades, siendo más común en adultos jóvenes y en mujeres, se calcula que alrededor de 1,8 millones de personas padecen EM (OMS, 2023). Los AC son la segunda causa principal de muerte a nivel mundial, provocando en 2019 6,5 millones de muertes (GBD 2019 Stroke Collaborators, 2021). En la actualidad, las afecciones neurológicas constituyen la principal causa de mala salud y discapacidad a nivel mundial (OMS, 2024). Estas tres patologías provocan una discapacidad motora y cognitiva significativa que afecta a la calidad de vida y a la funcionalidad de quienes la padecen (Triantafyllidis et al., 2023). Desde 1990, se ha observado un aumento de discapacidad, enfermedades y muertes prematuras atribuida a estas patologías (OMS, 2024)

La EP se produce por una degeneración o pérdida de las neuronas dopaminérgicas en la sustancia negra (Beitz, 2014). En el caso de la EM, la causa principal es la

desmielinización de las fibras nerviosas del encéfalo y la médula espinal, lo que provoca alteraciones en los sistemas motor, cognitivo y sensorial (Gutiérrez-Cruz et al., 2020). Por otro lado, el AC se debe a una interrupción del flujo sanguíneo en el cerebro, lo que puede causar daño neurológico en distintas áreas (Kim & Jang, 2021). A pesar de sus diferencias, estas tres patologías comparten varios síntomas motores. Entre los más relevantes se encuentran las dificultades para caminar, los problemas de equilibrio y los cambios en la marcha, ya que afectan directamente a la movilidad de las personas. En la EP, además, son comunes los temblores, la rigidez, la lentitud en los movimientos y la inestabilidad postural (Opara et al., 2017). En la EM también aparecen síntomas como la debilidad en una o dos extremidades y la reducción general de la movilidad (Cuerda-Ballester et al., 2023). En el caso del AC, destacan la espasticidad y la pérdida de propiocepción (Kim & Jang, 2021).

Como se puede observar, la disfunción del marcha y las alteraciones del equilibrio son dos de los principales factores que tienen en común estas tres enfermedades neurológicas, asociándose con una disminución de la calidad de vida y un aumento del riesgo de sufrir caídas (Corrini et al., 2023). Además, la funcionalidad de las extremidades inferiores también se ve comprometida en la mayoría de personas con enfermedades neurológicas. La reducción de la capacidad muscular, manifestada como una disminución de la fuerza, parece desempeñar un papel clave en la capacidad funcional, lo que a su vez se asocia con alteraciones en la marcha y el equilibrio (Ramari et al., 2020). Con objeto de preservar la funcionalidad en estos colectivos se hace fundamental llevar a cabo programas de rehabilitación y entrenamiento, y evaluarlos mediante herramientas objetivas de valoración del movimiento. Las personas que con enfermedades neurológicas presentan deterioros motores, sensoriales, perceptivos, cognitivos y del lenguaje, lo que refuerza la necesidad de llevar a cabo una rehabilitación

integral. La rehabilitación, en especial a través del ejercicio físico, ha demostrado ser eficaz para la mejorar la sintomatología, se ha observado que pacientes que se han sometido a una rehabilitación a través del ejercicio físico han tenido una recuperación más favorable y rápida (Lee et al., 2022). El ejercicio físico puede ayudar a pacientes de AC a restaurar la función de los músculos dañados, permitiéndoles volver a las actividades de la vida cotidiana (Lee et al., 2022). En personas con EM, no solo se han encontrado beneficios en la condición física, capacidad funcional y calidad de vida sino que también se han visto efectos positivos sobre la estructura del sistema nervioso central (Motl & Pilutti, 2012) y en personas con EP hay una mejoría en la función motora global (Tsukita et al., 2022). Mantener niveles altos de actividad física regular contribuye a una mejor evolución de la enfermedad, mejora de la calidad de vida e influye positivamente distintos aspectos de la sintomatología como la marcha, función, equilibrio, espasticidad, capacidad aeróbica (Selph et al., 2021)

Por lo tanto, la actividad física juega un papel crucial en el control de los síntomas motores, ya que contribuye de manera significativa a la mejora de la movilidad, la fuerza y el equilibrio. En este sentido, el uso de herramientas de evaluación estandarizadas se vuelve esencial para registrar de forma objetiva parámetros clave como la marcha, el equilibrio y la fuerza del tren inferior (Mancini & Horak, 2010; Craig et al., 2017). Estas mediciones no solo facilitan el seguimiento preciso de los síntomas en personas con afecciones neurológicas o musculoesqueléticas, sino que también permiten identificar alteraciones motoras y déficits específicos, para que fisioterapeutas y profesionales de la actividad física y el deporte puedan determinar el enfoque más adecuado para la rehabilitación y el tratamiento de la enfermedad (Horak et al., 2009).

Además, tecnologías avanzadas de análisis de la marcha y el equilibrio pueden detectar cambios sutiles en las fases tempranas, lo cual optimiza la planificación de

intervenciones personalizadas (Shanahan et al., 2018). Los sistemas de análisis biomecánico, incluidos los portátiles, han demostrado ser eficaces para evaluar la función motora de manera objetiva, proporcionando datos en tiempo real que pueden ser utilizados en entornos comunitarios y adaptados a las necesidades de cada paciente (Oung et al., 2015). Estas herramientas permiten a los profesionales de la salud no solo evaluar el estado funcional de los pacientes, sino también monitorear la evolución de su condición y ajustar los programas de actividad física de manera más efectiva. La evaluación continua facilita un enfoque personalizado, mejorando los resultados clínicos y la calidad de vida de los pacientes (Jesus, 2023)

En España, existen numerosas asociaciones de pacientes y fundaciones que persiguen mejorar la calidad de vida de estos colectivos poniendo al alcance de los usuarios distintos programas de rehabilitación y entrenamiento. Para este tipo de colectivos, el uso de los sistemas precisos de laboratorio de medición de la marcha y el equilibrio, como plataformas de fuerza o cámaras de captura del movimiento, presentan importantes limitaciones en términos de costo, volumen y complejidad de manejo (Das et al., 2022). Por ese motivo, en muchas asociaciones y centros de rehabilitación, la evaluación de las capacidades físicas como la marcha, el equilibrio o la fuerza se suele realizar mediante escalas clínicas o herramientas de observación. Aunque estas evaluaciones sean útiles y de bajo coste, presentan ciertas limitaciones en cuanto a la precisión y la sensibilidad, ya que, al basarse principalmente en escalas visuales, dependen en gran medida de la interpretación del profesional que las realiza y el paciente que las ejecuta (Mancini & Horak, 2010). Esto puede generar cierta variabilidad entre evaluadores o incluso entre sesiones del mismo evaluador (Gor-García-Fogeda et al., 2016). Esta falta de precisión puede limitar su uso para hacer un seguimiento detallado

de la evolución del paciente o para valorar de forma más objetiva el impacto de una intervención.

Ante estas limitaciones, las tecnologías basadas en sensores portátiles para la monitorización de la progresión de la enfermedad han experimentado una evolución importante en las últimas décadas. Se ha observado un gran aumento en el uso de teléfonos móviles y relojes inteligentes, lo que se manifiesta en un aumento en la cantidad de estudios y ensayos clínicos que utilizan estas tecnologías para analizar las funciones motoras (Woelfle et al., 2023). En este contexto, el uso de aplicaciones para teléfonos inteligentes surge como una alternativa más objetiva, con una sólida validez, fiabilidad y capacidad discriminativa para la evaluación de la marcha y el equilibrio (Abou et al., 2021). Además, se muestran como herramientas más económica, portátil y de fácil uso para la práctica clínica habitual en servicios de salud (Das et al., 2022; Rodrigues et al., 2022)

Teniendo en cuenta la evolución tecnológica y las ventajas que pueden ofrecer, el objetivo principal de este trabajo es analizar y comparar la utilidad de los métodos tradicionales de evaluación funcional, basados en la observación clínica, frente a herramientas tecnológicas que emplean sensores inerciales integrados en dispositivos móviles. Para ellos se contrastarán los resultados obtenidos mediante la observación directa de los test *Tinetti Test* (TT) y el tiempo transcurrido en completar *Five Times Sit to Stand Test* (FTSST) con los datos cuantitativos de *Gait&Balance* (G&B) y *Five Times Sit to Stand Test* (FTSST) recogidos a través de aplicaciones móviles que utilizan sensores inerciales. También se analizarán los datos de la escala del *Inventario de Discapacidad por Mareo (DHI)* de personas con esclerosis múltiple con población sana. Esta comparación permitirá analizar la correlación entre ambas metodologías y valorar si el uso de tecnología ofrece una mayor precisión y sensibilidad en la evaluación de la

marcha, el equilibrio y la fuerza del tren inferior. Además, se compararán los resultados obtenidos con estas herramientas en una muestra de sujetos sanos y en una muestra de personas con Esclerosis Múltiple, extraída del estudio del profesor David Barbado. Este análisis permitirá valorar la utilidad de los test en la detección de alteraciones funcionales asociadas a esta patología.

MÉTODO

Participantes

El estudio contó con la participación de dos diferentes grupos: un grupo control, formado por (15) personas sanas (6 hombre y 9 mujeres) de edades comprendidas entre 20 y 50 años y otro grupo que contó con 16 personas con esclerosis múltiple (6 hombre y 10 mujeres) del estudio del profesor David Barbado. Todos los participantes fueron informados previamente y firmaron un consentimiento informado antes de realizar las pruebas con la información detallada del estudio. Para el grupo control, los criterios de inclusión fueron: tener una edad comprendida entre los 20 y los 55 años, no presentar enfermedades neurológicas, no presentar alteraciones que puedan afectar a la marcha o el equilibrio y aceptar participar de manera voluntaria en el estudio. En el caso del grupo con esclerosis múltiple, los criterios de inclusión fueron: tener un diagnóstico confirmado de esclerosis múltiple, edad entre los 20 y los 55 años, ser capaz de caminar de forma independiente o con ayuda mínima, encontrarse en situación de estabilidad clínica y que firmaran voluntariamente el consentimiento informado.

Procedimiento

La recogida de datos se realizó entre el 12 y el 23 de mayo. Durante ese periodo, los participantes fueron evaluados de forma individual y el protocolo se aplicó siguiendo un orden fijo para todos los usuarios con el fin de asegurar homogeneidad en las pruebas de evaluación. Antes de comenzar se explicaron brevemente las diferentes pruebas y

todos los participantes firmaron el consentimiento informado de manera voluntaria, seguidamente se pasó el cuestionario DHI. Posteriormente, se realizó la prueba Gait&Balance utilizando el dispositivo móvil para recoger los parámetros relacionados con la marcha y el equilibrio. Para ello, el dispositivo se colocó en la región lumbar L5 mediante un cinturón ajustado a la cintura del participante. A continuación, se llevó a cabo la prueba funcional de la marcha de 25 pies (7,62m), la cual se implementó de forma observacional siguiendo el protocolo estandarizado. Por último, se realizó Five Times To Stand Test, durante su ejecución, los participantes fueron grabados en video y las grabaciones se introdujeron posteriormente en la aplicación PowerFrail, la cual, a partir de la masa y la estatura de cada sujeto calcula la potencia del tren inferior. Esta prueba se realizó dos veces y eligiéndose para el análisis la repetición en la que se obtuvo el mejor rendimiento

Herramientas

Gait&Balance

La evaluación de la marcha y el equilibrio es clave para detectar alteraciones motoras y llevar un seguimiento de personas con enfermedades neurológicas. La aplicación *Gait&Balance* (*G&B*) permite medir estos parámetros de manera objetiva mediante sensores inerciales integrados en smartphones (Rashid et al., 2021). Su uso ha demostrado ser fiable y válido en poblaciones con riesgo de alteraciones del equilibrio (Olsen et al., 2023).

La aplicación *G&B* incluye 6 pruebas de evaluación: 4 pruebas de equilibrio estático durante 30 segundos y 2 de evaluación de la marcha, en las que el sujeto tendrá que caminar siguiendo las instrucciones que se le indique durante 4 tiempos de 6 segundos. Los sensores inerciales del teléfono inteligente registran múltiples variables relacionadas con el equilibrio y la estabilidad del paciente. Al finalizar la prueba, la aplicación registra los datos sobre la estabilidad postural y distintos parámetros de la

marcha, como la simetría, la longitud del paso, la velocidad de la marcha, etc. (Rashid et al., 2021).

Velocidad de la Marcha

Como se ha visto anteriormente, la dificultad en la marcha es un síntoma que afecta a muchas personas con EM e influye sobre su calidad de vida y el riesgo de sufrir caídas. Para medir la funcionalidad de la marcha, una de las mejores herramientas en la prueba de caminar 25 pies (7,62m), la cual es una prueba cronometrada donde el participante recorre la distancia indicada a la máxima velocidad posible (Kieseier & Pozzilli, 2012). El test de velocidad de la marcha de 25 pies (T25FW) es una herramienta de evaluación fundamental para la Esclerosis Múltiple (EM), esta prueba es reconocida por su alta fiabilidad y validez en diversas etapas de la discapacidad en EM, lo que permite un seguimiento preciso de la progresión de la enfermedad y la efectividad de las intervenciones (Motl et al., 2017).

Inventario de Discapacidad por Mareo (DHI)

El inventario de Discapacidad por Mareo es una escala desarrollada por Jacobson y Newman (1990) para evaluar los factores físicos desencadenantes del mareo. Este cuestionario consta de 25 ítems organizados en 3 subescalas (física, funcional y emocional) las cuales se centran en las principales dificultades que una persona puede experimentar por causa de vértigos o dificultades del equilibrio (Jacobson & Newman, 1990). El mareo y la inestabilidad son dos síntomas común en personas con EM, en este contexto, el DHI ha demostrado una fuerte correlación y alta fiabilidad para la evaluación del equilibrio en esta población, por lo que es una herramienta útil para medir el impacto del mareo y la pérdida del equilibrio en la vida diaria de los pacientes (Marrie et al., 2013).

Five Times Sit To Stand Test (FTSST)

Para valorar la potencia del tren inferior se ha seleccionado la prueba de Five Times Sit to Stand Test (5 veces). Este test es una herramienta muy utilizada para evaluar

la movilidad funcional, la fuerza muscular de las extremidades inferiores y el control del equilibrio. Además, ha demostrado ser un instrumento fiable y válido en diversos estudios. Su uso está extendido tanto en adultos mayores sanos como en personas con patologías respiratoria, neurológica, degenerativa o musculoesquelética (Muñoz-Bermejo et al., 2021).

La prueba consiste en levantarse y sentarse de la silla 5 veces seguidas lo más rápido posible. Para comenzar la prueba, el sujeto debe permanecer sentado en una silla (de 43cm de altura), con los brazos en cruz sobre el pecho, a la señal del evaluador tiene, la persona de debe levantarse completamente hasta extender las piernas y volver a sentarse en la silla durante 5 veces. La prueba comienza justo cuando el sujeto empieza el movimiento para incorporarse la primera vez y termina cuando se siente por completo en la última repetición. El procedimiento se graba con un dispositivo móvil y se importan los datos a la aplicación *PowerFrail*, la cual calcula la potencia del tren inferior teniendo en cuenta la altura y masa del paciente.

Análisis Estadístico

Una vez recogidos todos los datos, el análisis estadístico se realizará utilizando el software *JASP*. En primer lugar, se calcularán los estadísticos descriptivos para todas las pruebas de evaluación en ambas muestras (media, desviación estándar, valores máximos y mínimos). Posteriormente, se comprobará la normalidad de las distribuciones mediante la prueba *Saphiro-Wilk* para cada una de las variables. Con el fin de ver si hay diferencias estadísticamente significativas entre grupos (control y con EM), se realizará la prueba *T de Student para muestras independientes* para la prueba G&B, Velocidad de la Marcha, FTSST (observacional y con sensores) y DHI. Además de la significación estadística, se calculará el tamaño del efecto mediante la *d de Cohen*, con el objetivo de valorar la magnitud de la diferencia entre grupos para cada uno de las herramientas de evaluación.

Un mayor tamaño del efecto indicará mayor capacidad discriminativa de ese test para distinguir entre personas sanas y personas con EM.

Agradecimientos

Este Trabajo Final de Master ha sido desarrollado como parte del proyecto de I+D+i PI24/01970, financiado por el Instituto de Salud Carlos III — AES- ISCIII 2024, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER, UE).



Referencias

Abou, L., Peters, J., Wong, E., Akers, R., Dossou, M. S., Sosnoff, J. J., & Rice, L. A. (2021). Gait and Balance Assessments using Smartphone Applications in Parkinson's Disease: A Systematic Review. *Journal of Medical Systems*, 45(9), 87. <https://doi.org/10.1007/s10916-021-01760-5>

Agnello, L., & Ciaccio, M. (2022). Neurodegenerative Diseases: From Molecular Basis to Therapy. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21), 12854. <https://doi.org/10.3390/ijms232112854>

Beitz, J. M. (2014). Parkinson's disease: A review. *Frontiers in Bioscience (Scholar Edition)*, 6(1), 65-74. <https://doi.org/10.2741/s415>

Brandão, P. de M. F., Lino, T. B., de Oliveira, R. T., Parra, A. V., Andrade, P. H. M., & Christofolletti, G. (2022). Age, motor dysfunction and neuropsychiatric symptoms impact quality of life in multiple sclerosis. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 75(6), e20210207. <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2021-0207>

Corrini, C., Gervasoni, E., Perini, G., Cosentino, C., Putzolu, M., Montesano, A., Pelosin, E., Prosperini, L., & Cattaneo, D. (2023). Mobility and balance rehabilitation in multiple sclerosis: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2022.104424>

Craig, J. J., Bruetsch, A. P., Lynch, S. G., Horak, F. B., & Huisinga, J. M. (2017). Instrumented balance and walking assessments in persons with multiple sclerosis show strong test-retest reliability. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14, 43. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0251-0>

Cuerda-Ballester, M., Martínez-Rubio, D., García-Pardo, M. P., Proaño, B., Cubero, L., Calvo-Capilla, A., Sancho-Cantus, D., & de la Rubia Ortí, J. E. (2023). Relationship of Motor Impairment with Cognitive and Emotional Alterations in Patients

with Multiple Sclerosis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1387. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021387>

Das, R., Paul, S., Mourya, G. K., Kumar, N., & Hussain, M. (2022). Recent Trends and Practices Toward Assessment and Rehabilitation of Neurodegenerative Disorders: Insights From Human Gait. *Frontiers in Neuroscience*, 16, 859298. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.859298>

GBD 2019 Stroke Collaborators. (2021). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet. Neurology*, 20(10), 795-820. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(21\)00252-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(21)00252-0)

Gor-García-Fogeda, M. D., Cano De La Cuerda, R., Carratalá Tejada, M., Alguacil-Diego, I. M., & Molina-Rueda, F. (2016). Observational Gait Assessments in People With Neurological Disorders: A Systematic Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97(1), 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.07.018>

Gutiérrez-Cruz, C., Rojas-Ruiz, F. J., De la Cruz-Márquez, J. C., & Gutiérrez-Dávila, M. (2020). Effect of a Combined Program of Strength and Dual Cognitive-Motor Tasks in Multiple Sclerosis Subjects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6397. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176397>

Horak, F. B., Wrisley, D. M., & Frank, J. (2009). The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to Differentiate Balance Deficits. *Physical Therapy*, 89(5), 484. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080071>

Jacobson, G. P., & Newman, C. W. (1990). The Development of the Dizziness Handicap Inventory. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 116(4), 424-427. <https://doi.org/10.1001/archotol.1990.01870040046011>

Jesus, E. A. de. (2023). Evaluación del equilibrio postural en pacientes con

accidente cerebrovascular. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 02(07), 23-41.

Kalb, R., Brown, T. R., Coote, S., Costello, K., Dalgas, U., Garmon, E., Giesser, B., Halper, J., Karpatkin, H., Keller, J., Ng, A. V., Pilutti, L. A., Rohrig, A., Van Asch, P., Zackowski, K., & Motl, R. W. (2020). Exercise and lifestyle physical activity recommendations for people with multiple sclerosis throughout the disease course. *Multiple Sclerosis (Houndmills, Basingstoke, England)*, 26(12), 1459-1469. <https://doi.org/10.1177/1352458520915629>

Kieseier, B. C., & Pozzilli, C. (2012). Assessing walking disability in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis (Houndmills, Basingstoke, England)*, 18(7), 914-924. <https://doi.org/10.1177/1352458512444498>

Kim, K.-H., & Jang, S.-H. (2021). Effects of Task-Specific Training after Cognitive Sensorimotor Exercise on Proprioception, Spasticity, and Gait Speed in Stroke Patients: A Randomized Controlled Study. *Medicina*, 57(10), 1098. <https://doi.org/10.3390/medicina57101098>

Lee, K. E., Choi, M., & Jeoung, B. (2022). Effectiveness of Rehabilitation Exercise in Improving Physical Function of Stroke Patients: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12739. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912739>

Mancini, M., & Horak, F. B. (2010). The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 46(2), 239-248.

Marrie, R. A., Cutter, G. R., & Tyry, T. (2013). Substantial burden of dizziness in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 2(1), 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2012.08.004>

Motl, R. W., Cohen, J. A., Benedict, R., Phillips, G., LaRocca, N., Hudson, L. D., & Rudick, R. (2017). Validity of the timed 25-foot walk as an ambulatory performance outcome measure for multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis (Houndmills, Basingstoke, England)*, 23(5), 704-710. <https://doi.org/10.1177/1352458517690823>

Motl, R. W., & Pilutti, L. A. (2012). The benefits of exercise training in multiple sclerosis. *Nature Reviews. Neurology*, 8(9), 487-497. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2012.136>

Muñoz-Bermejo, L., Adsuar, J. C., Mendoza-Muñoz, M., Barrios-Fernández, S., Garcia-Gordillo, M. A., Pérez-Gómez, J., & Carlos-Vivas, J. (2021). Test-Retest Reliability of Five Times Sit to Stand Test (FTSST) in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biology*, 10(6), 510. <https://doi.org/10.3390/biology10060510>

Olsen, S., Rashid, U., Allerby, C., Brown, E., Leyser, M., McDonnell, G., Alder, G., Barbado, D., Shaikh, N., Lord, S., Niazi, I. K., & Taylor, D. (2023). Smartphone-based gait and balance accelerometry is sensitive to age and correlates with clinical and kinematic data. *Gait & Posture*, 100, 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.11.014>

Opara, J., Malecki, A., Malecka, E., & Socha, T. (2017). Motor assessment in Parkinson`s disease. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine: AAEM*, 24(3), 411-415. <https://doi.org/10.5604/12321966.1232774>

Organización Mundial de la Salud. (2023a). *Esclerosis múltiple*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/multiple-sclerosis>

Organización Mundial de la Salud. (2023b). *Parkinson disease*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/parkinson-disease>

Organización Mundial de la Salud. (2024). *Más de 1 de cada 3 tienen afecciones neurológicas, la principal causa de enfermedad y discapacidad en todo el mundo*.

<https://www.who.int/es/news/item/14-03-2024-over-1-in-3-people-affected-by-neurological-conditions--the-leading-cause-of-illness-and-disability-worldwide>

Oung, Q. W., Muthusamy, H., Lee, H. L., Basah, S. N., Yaacob, S., Sarillee, M., & Lee, C. H. (2015). Technologies for Assessment of Motor Disorders in Parkinson's Disease: A Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 15(9), 21710-21745. <https://doi.org/10.3390/s150921710>

Ramari, C., Hvid, L. G., David, A. C. de, & Dalgas, U. (2020). The importance of lower-extremity muscle strength for lower-limb functional capacity in multiple sclerosis: Systematic review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 63(2), 123-137. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.11.005>

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), Article 1. <https://doi.org/10.3390/s22010124>

Rodrigues, L. A., Santos, E. G. R., Santos, P. S. A., Igarashi, Y., Oliveira, L. K. R., Pinto, G. H. L., Santos Lobato, B. L., Cabral, A. S., Belgamo, A., Costa e Silva, A. A., Callegari, B., & Souza, G. S. (2022). Wearable Devices and Smartphone Inertial Sensors for Static Balance Assessment: A Concurrent Validity Study in Young Adult Population. *Journal of Personalized Medicine*, 12(7), 1019. <https://doi.org/10.3390/jpm12071019>

Selph, S. S., Skelly, A. C., Wasson, N., Dettori, J. R., Brodt, E. D., Ensrud, E., Elliot, D., Dissinger, K. M., & McDonagh, M. (2021). Physical Activity and the Health of Wheelchair Users: A Systematic Review in Multiple Sclerosis, Cerebral Palsy, and Spinal Cord Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 102(12), 2464-2481.e33. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2021.10.002>

Shanahan, C. J., Boonstra, F. M. C., Cofré Lizama, L. E., 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, 708. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00708>

Triantafyllidis, A., Segkouli, S., Zygouris, S., Michailidou, C., Avgerinakis, K., Fappa, E., Vassiliades, S., Bougea, A., Papagiannakis, N., Katakis, I., Mathioudis, E., Sorici, A., Bajenaru, L., Tageo, V., Camonita, F., Magga-Nteve, C., Vrochidis, S., Pedullà, L., Brichetto, G., ... Tzovaras, D. (2023). Mobile App Interventions for Parkinson's Disease, Multiple Sclerosis and Stroke: A Systematic Literature Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(7), 3396. <https://doi.org/10.3390/s23073396>

Tsukita, K., Sakamaki-Tsukita, H., & Takahashi, R. (2022). Long-term Effect of Regular Physical Activity and Exercise Habits in Patients With Early Parkinson Disease. *Neurology*, 98(8), e859-e871. <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000013218>

Woelfle, T., Bourguignon, L., Lorscheider, J., Kappos, L., Naegelin, Y., & Jutzeler, C. R. (2023). Wearable Sensor Technologies to Assess Motor Functions in People With Multiple Sclerosis: Systematic Scoping Review and Perspective. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e44428. <https://doi.org/10.2196/44428>