

Caracterización de la marcha del paciente con enfermedad de Parkinson

Vanessa Yelós Tellagorry¹, Valentina Agostini²,
Natalia Garay³ and Franco Simini³

¹Estudiante del XXXIII Seminario de Ingeniería Biomédica 2024.

²Conferencista del Seminario del día 15 de Mayo de 2024 de título “Análisis de la marcha mediante sensores de electromiografía de superficie”, Politecnico di Torino, Italia.

³Docentes del XXXIII Seminario de Ingeniería Biomédica 2024.

Abstract— Parkinson's disease (PD) is a neurodegenerative disability that affects the gait and quality of life of those who suffer from it. In this monograph, gait parameters such as speed, cadence and percentage of double support are compared between individuals with PD and healthy groups, using two different methodologies: that of Ghislieri et al. and Yang et al. Both studies involve patients in stages I-II of the disease who are in the most effective phase of the prescribed medication. The results reveal that, despite the methodological differences, there are no significant variations in speed and double support, although cadence shows notable differences, especially in the PD population. Furthermore, a higher percentage of atypical cycles will be observed in patients with PD, indicating alterations in the gait pattern. The implications of these findings suggest the need to consider compensation strategies in the evaluation of gait in patients with PD and the importance of additional studies on atypical patterns and symmetry analysis to obtain results with greater precision.

Keywords— Gait, Parkinson, Spatio-temporal parameters.

Resumen— La enfermedad de Parkinson (EP) es una discapacidad neurodegenerativa que afecta la marcha y la calidad de vida de quienes la padecen. En esta monografía se comparan parámetros de marcha como velocidad, cadencia y porcentaje de doble apoyo, entre individuos con EP y sujetos sanos, utilizando dos metodologías distintas: la de Ghislieri et al. y Yang et al. Ambos estudios involucran a pacientes en etapas I-II de la enfermedad que se encuentran en la fase más efectiva de la medicación prescrita. Los resultados revelan que, a pesar de las diferencias metodológicas, no hay variaciones significativas en velocidad y doble apoyo, aunque la cadencia muestra diferencias notables, especialmente en la población con EP. Además, se observó un mayor porcentaje de ciclos atípicos en pacientes con EP, lo que indica alteraciones en el patrón de marcha. Las implicaciones de estos hallazgos sugieren la necesidad de considerar estrategias de compensación en la evaluación de la marcha en pacientes con EP y la importancia de estudios adicionales sobre patrones atípicos y análisis de simetría para obtener resultados con mayor precisión.

Palabras clave— Marcha, Parkinson, Parámetros espacio-temporales.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), es posible definir la discapacidad como “cualquier restricción o falta de habilidad para realizar una actividad dentro del rango considerado normal para un ser humano debido a una deficiencia” [1]. La enfermedad de Parkinson (EP) puede ser definida como una discapacidad neurodegenerativa, progresiva y crónica que afecta a nivel del sistema nervioso central y periférico. La misma puede ser generada por factores ambientales como genéticos que ocasionan disfuncionalidades en el ganglio basal, lo que juega un papel fundamental en el control motor de los humanos [2], [3], [4]. Si bien los síntomas pueden variar entre pacientes, la presencia de la enfermedad se determina con al menos dos de los siguientes síntomas: temblores, rigidez, inestabilidad y acinesia [5]. La existencia de alguno de estos factores genera en el paciente alteraciones que dificultan la realización de actividades diarias como la marcha, escritura e incluso el habla, lo que disminuye la calidad de vida e independencia de la persona. En la marcha se puede ver reflejada en la reducción de velocidad así como en el largo del paso, aumentando la variabilidad de la acción y la energía necesaria para llevarla a cabo, lo que puede traducirse en riesgo de caídas [6], [7].

Es posible considerar el estudio de la marcha como una serie de procedimientos que incluyen la observación, adquisición, el análisis e interpretación de patrones de movimientos [8]. En cuanto a la marcha, esta puede dividirse en fases y eventos que son de utilidad a la hora de realizar análisis, comparaciones y evaluaciones de patrones en una serie de ciclos, lo que facilita la comparación de diferentes sujetos y condiciones [9], [10]. Un *ciclo de marcha* comprende los

eventos que se desarrollan en el intervalo de tiempo entre que un pie hace contacto con el suelo y cuando el mismo pie vuelve a realizar el apoyo. Cada ciclo presenta un patrón típico que se mantiene sin variaciones a partir de los cuatro años de edad y puede dividirse en dos fases: *de apoyo* y *de balanceo*. La primera hace referencia al período de tiempo durante el cual el pie está en contacto con el suelo (aproximadamente 60% del ciclo), la otra comienza cuando el pie despega del suelo y queda en el aire, siendo el momento de separación entre ellas el despegue de los dedos (Fig.1) [6], [9].

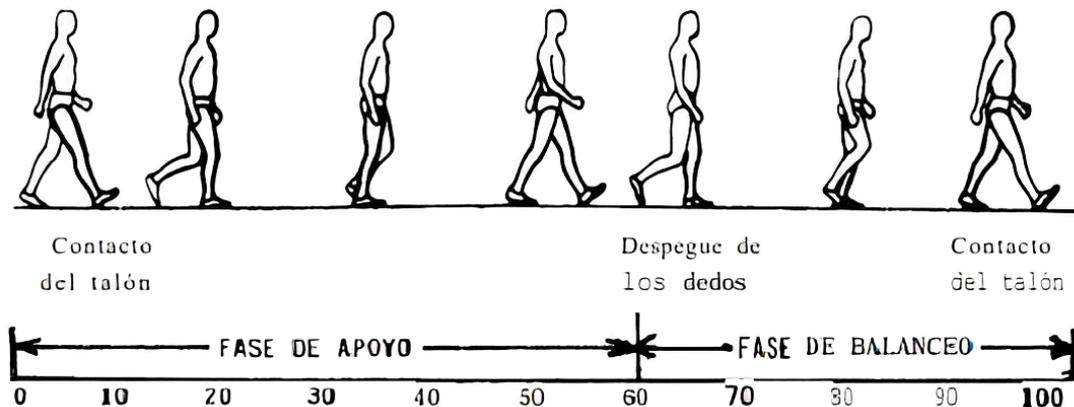


Fig. 1: Fases de un ciclo de marcha. Tomado y modificado de Borghese, N., Bianchi, L., Lacquaniti,

F. (1996) [12].

Para el año 2050 la OMS estima que la población con EP llegaría a los 2000 millones de personas, el doble con respecto al año 2015, dado que la esperanza de vida es cada vez mayor [6], [13]. Es por ello que, tanto en el área de la clínica como en la investigación, constantemente se están buscando formas de evitar el avance de la misma en las etapas iniciales así como protocolos para identificar tempranamente los indicios de su presencia, dado que hay una etapa denominada “discapacidad preclínica” en la que el paciente presenta pequeñas dificultades para realizar algunas actividades pero aún puede seguir ciertas estrategias que le permiten llevarlas a cabo [12], [14].

En los últimos años la tecnología ha permitido evaluar parámetros espacio temporales de la marcha (velocidad, frecuencia, longitud de paso, tiempo de apoyo, etc.) en variedad de formas, no únicamente en laboratorios especializados. Usualmente en los experimentos se realizan marchas en línea recta a velocidades auto seleccionadas por los pacientes, pudiendo ser bajo los efectos de la medicación, sin esta o posterior a una neurocirugía, [6], [15]. La hipoquinesia (reducción de velocidad y amplitud del movimiento), es el desorden de movimiento más común, por lo que es el más estudiado, generalmente la marcha de estos implica mayor cadencia, pasos más cortos y mayor duración de la fase de doble apoyo [6],[16]. Es destacable que en caso de pacientes medicados, el largo de los pasos aumenta, así como la velocidad seleccionada cuando se lo compara con sujetos con EP sin medicación prescrita [17]. Cuando la longitud de la zancada disminuye, lo que ocurre en estadios avanzados de la enfermedad, aparecen bloqueos motores conocidos como “congelamiento”, lo que hace que el sujeto pueda perder estabilidad o no realizar la actividad deseada (como girar), generando altas probabilidades de que ocurra una caída [18].

La evaluación de la marcha puede realizarse en diversidad de métodos. Particularmente en personas con EP se debe tener en cuenta las limitaciones que esta enfermedad implica a la hora de realizar experimentos. Dentro de las mejores opciones para realizarlo se encuentran las alfombras sensibles a la presión, sensores de presión e interruptores de pie, dado que no afectan el movimiento normal del sujeto. Estos permiten obtener parámetros espacio temporales de particular interés que caracterizan la marcha.

Uno de los objetivos de esta monografía es presentar los resultados de velocidad de marcha, cadencia y el porcentaje de doble apoyo utilizando dos métodos diferentes de adquisición en sujetos sanos y patológicos, para así observar las diferencias presentes entre ellos. Además se busca comparar los resultados de pacientes con EP con datos de otras publicaciones. Por último, se presentan resultados sobre ciclos atípicos.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta monografía se realiza una revisión bibliográfica de dos investigaciones llevadas a cabo por Ghislieri et. al. [19] y Yang et. al. [20], donde se llevan a cabo experimentos de marcha con personas con Parkinson y sujetos sanos, buscando así realizar la comparación entre ambas poblaciones. Cabe destacar que los pacientes con EP fueron incluidos teniendo en cuenta que estuvieran en las etapas I-II de la enfermedad de acuerdo a la escala de Hoehn-Yahr y que estos,

a la hora de llevar a cabo las colectas, se encuentran bajo los efectos de la medicación (durante la etapa de mayor eficacia del medicamento, aproximadamente 1.5 horas posteriores) [21], [22].

I. RESULTADOS

A. Ghislieri et. al.

Para realizar la investigación, se adquieren datos sobre 20 sujetos enfermos con edad de 59.1 ± 8.4 años, altura de 175.9 ± 9.5 cm, y peso de 77.6 ± 12.3 kg. Además la muestra incluye 20 individuos sanos con las siguientes características: edad de 55.2 ± 9.6 años, altura de 168.1 ± 9.5 cm, y peso de 70.9 ± 5.7 kg. La metodología seguida consiste en equipar a los 40 sujetos con tres interruptores colocados con cinta doble faz en la planta de los pies (estando descalzos), ubicados en: talón, primer y quinto metatarsiano. Se le solicita a los voluntarios que caminen a velocidad autoseleccionada por aproximadamente 5 min a lo largo de 9 m en línea recta. El sistema de adquisición multicanal utilizado es STEP32, el cual permite determinar las fases de la marcha a partir del contacto del pie con el suelo.

Los datos son procesados utilizando MATLAB, realizando filtrados para eliminar los picos generados por el rebote del sensor al realizar cada paso, buscando obtener una señal cuadrada donde se pueda identificar cuatro fases de interés: contacto del talón (H), apoyo del pie (F), despegue (P) y balanceo (S). Posteriormente se segmentan las señales de acuerdo a los ciclos y se las clasifica según la secuencia de activación de los sensores, formando dos grupos: uno para los sujetos con la secuencia HFPS y otro para secuencias atípicas. En la Tabla I se puede observar el porcentaje de ciclos atípicos promedio (con respecto al completo de la adquisición) para cada población. Si bien se encontraron diez clases de ciclos atípicos, son dos los más recurrentes en los sujetos enfermos: PFPS y PS.

TABLA I
PORCENTAJE DE CICLOS ATÍPICOS PROMEDIO REALIZADOS POR CADA POBLACIÓN, OBTENIDOS POR GHISLIERI ET. AL.

	Ciclos atípicos (%)
Sujetos con EP	8.55
Sujetos sanos	2.25

Luego se calcula la velocidad, cadencia y doble apoyo para los sujetos con EP y sanos, resultados que se presentan en la Tabla II.

TABLA II
VALORES PROMEDIOS DE VELOCIDAD, CADENCIA Y DOBLE APOYO COMO PORCENTAJE DEL CICLO TOTAL, OBTENIDOS POR GHISLIERI ET. AL. PARA AMBAS POBLACIONES. TOMADO DE GHISLIERI ET. AL. [19].

	Velocidad (m/s)	Cadencia (ciclo/min)	Doble apoyo (%)
Sujetos con EP	1.01	55.7	11.9
Sujetos sanos	1.08	54.6	14.2

B. Yang et. al.

La metodología llevada a cabo cuenta con 18 individuos enfermos (edad 68.6 ± 11.1) y 17 sanos (edad 68.9 ± 7.0), los cuales realizaron marchas a la velocidad autoseleccionada a lo largo de 10 m y en una superficie plana.

Para obtener los parámetros de interés (velocidad, cadencia, largo de paso, duración del ciclo completo y de todas sus fases), se utiliza una alfombra sensible a la presión que permite identificar los contactos del pie al realizar la marcha repitiendo el proceso tres veces [20].

En la Tabla III se pueden observar los resultados de velocidad, cadencia y doble apoyo correspondientes a los resultados obtenidos para los sujetos con EP y sanos.

TABLA III
VALORES PROMEDIOS DE VELOCIDAD, CADENCIA Y DOBLE APOYO COMO PORCENTAJE DEL CICLO TOTAL, OBTENIDOS POR YANG ET.AL. PARA AMBAS POBLACIONES. TOMADO DE YANG ET.AL. [20].

	Velocidad (m/s)	Cadencia (ciclo/min)	Doble apoyo (%)
Sujetos con EP	0.89	52.02	12.46
Sujetos sanos	1.12	53.89	13.4

I. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta las características de la enfermedad de Parkinson y sabiendo cómo esta afecta la marcha, se puede observar que a pesar de realizar experimentos con equipamientos diferentes, los resultados presentados en las tablas II y III no reflejan grandes variaciones entre sí en cuanto a la velocidad y doble apoyo, al realizar la comparación entre poblaciones de similares características. Sin embargo esto no ocurre cuando se observa los valores de cadencia, donde, principalmente para los sujetos con EP, hay una diferencia de 3.68 ciclo/min en los promedios de ambos estudios; esto puede deberse, de acuerdo a Ghislieri et. al., a que en estadios tempranos de la enfermedad y al realizar marchas en línea recta, este no se ve afectado, por lo que los valores obtenidos en ambas poblaciones para dicha investigación, son similares entre sí. Sumado a esto, Vila et. al. menciona que es posible que el aumento de cadencia se de a causa de la disminución de velocidad, en un intento de realizar una compensación en el movimiento [22].

Realizando la comparación entre los diferentes grupos se puede observar que los sujetos con EP para el estudio de Ghislieri et.al (Tabla II), no presentan valores muy diferenciados de velocidad con respecto al grupo control pero si ocurre en el caso de la cadencia y principalmente en el doble apoyo. Este último, de acuerdo a la bibliografía, puede ser resultado de las modificaciones que realizan los sujetos para poder llevar a cabo la actividad, es decir que para poder mantener una velocidad “normal” varían el tiempo de paso como resultado de modificaciones en diferentes fases del ciclo, como se evidencia en el doble apoyo. Además, los autores estudian la realización de marchas atípicas, donde no se mantiene el patrón esperado, generando variaciones en las duraciones de las diferentes fases.

En el caso de los resultados obtenidos por Yang et. al. (Tabla II), si se presentan valores diferenciados entre las poblaciones. Esto es posible atribuirlo a que los pacientes con EP realizan pasos más cortos buscando así una mayor estabilidad al realizar cada movimiento, utilizando diferentes estrategias de compensación y variaciones en el ciclo para no sufrir caídas y realizar los movimientos de forma fluida.

Observando los resultados obtenidos para la población patológica, se puede observar que los parámetros se comportan de la forma esperada, teniendo valores similares a publicaciones como la de Vila et.al. y Di Biase [22], [23]. La investigación bibliográfica llevada a cabo por Zanardi et.al. menciona una reducción promedio de velocidad de 0.17 m/s, lo que es un valor mayor al de Ghislieri et.al. (0.07 m/s) y menor que el de Yang. et.al (0.23 m/s), sin embargo resulta cercano al valor medio entre ambos, por lo que sería posible afirmar que los valores se encuentran en el rango de la bibliografía consultada por los autores [16].

En cuanto al porcentaje de doble apoyo, la bibliografía menciona que deben ser mayores que para los sujetos control, lo que no ocurre para ninguno de los casos. Esto puede relacionarse con los datos de la Tabla I, donde, es posible afirmar que los parkinsonianos presentan un gran porcentaje de ciclos atípicos en comparación a la población de referencia. Teniendo en cuenta que los ciclos PFPS y PS son los más comunes de acuerdo a lo hipotetizado por Ghislieri et.al, la fase de apoyo se ve comprometida al no tener el contacto del talón y además genera mayor inestabilidad en el sujeto, lo que podría generar una disminución o inexistencia del doble apoyo. Sumado a ello, cabe mencionar que el Parkinson también genera disminución de la coordinación y estabilidad, así como pérdida de fuerza muscular, lo que genera que la simetría y etapas de cada ciclo se modifiquen para compensar los movimientos erráticos.

II. CONCLUSIONES

Con la comparación de resultados de dos investigaciones que utilizaron metodologías diferenciadas, se pudo observar que la caracterización de la marcha en el paciente con Parkinson con respecto a un grupo control es posible. Sin embargo es destacable que las variaciones ocurridas entre ambas pueden ser generadas por diferentes factores, como lo son la edad media de la población testeada y la duración de la adquisición de datos, así como también la estrategia que elige cada paciente para compensar la pérdida de ciertas habilidades que le genera la enfermedad.

A pesar de ello, si bien es relevante realizar un estudio de parámetros espacio temporales para establecer ciertas características, puede que los resultados no sean concluyentes, dado que varían de acuerdo al estadio en el que se encuentre la persona así como la edad y el espacio dónde se lleve a cabo. Es por ello que es recomendable realizar estudios en paralelo como el estudio de marchas atípicas así como también el cálculo de ángulos articulares, en los cuales realizar cálculos de simetrías (teniendo en cuenta que el Parkinson afecta en mayor manera uno de los lados del cuerpo).

REFERENCIAS

- [1] World Health Organization, International classification of impairments, disabilities, and handicaps. Geneva.
- [2] M. E. Morris, F. Huxham, J. McGinley, K. Dodd, y R. Ianssek, «The biomechanics and motor control of gait in Parkinson disease», Clin. Biomech., vol. 16, n.o 6, pp. 459-470, jul. 2001, doi: 10.1016/S0268-0033(01)00035-3.

- [3] V. Sachan, S. Malik, R. Gautam, y P. Kumar, *Advances in AI for Biomedical Instrumentation, Electronics and Computing: Proceedings of the 5th International Conference on Advances in AI for Biomedical Instrumentation, Electronics and Computing (ICABEC-2023)*. CRC Press, 2024.
- [4] F. Carrillo García, «Enfermedad de Parkinson y parkinsonismos», *Med. - Programa Form. Médica Contin. Acreditado*, vol. 12, n.o 73, pp. 4273-4284, mar. 2019, doi: 10.1016/j.med.2019.03.002.
- [5] S. E. Halliday, D. A. Winter, J. S. Frank, A. E. Patla, y F. Prince, «The initiation of gait in young, elderly, and Parkinson's disease subjects», *Gait Posture*, vol. 8, n.o 1, pp. 8-14, ago. 1998, doi: 10.1016/S0966-6362(98)00020-4.
- [6] M. E. Morris, F. Huxham, J. McGinley, K. Dodd, y R. Ianssek, «The biomechanics and motor control of gait in Parkinson disease», *Clin. Biomech.*, vol. 16, n.o 6, pp. 459-470, jul. 2001, doi: 10.1016/S0268-0033(01)00035-3.
- [7] A. H. Leal-Nascimento et al., «Biomechanical responses of Nordic walking in people with Parkinson's disease», *Scand J Med Sci Sports*, vol. 32, pp. 290-297, 2022, doi: 10.1111/sms.14095.
- [8] N. Stergiou, *Biomechanics and gait analysis*. Academic Press, 2020.
- [9] C. M. O'Connor, S. K. Thorpe, M. J. O'Malley, y C. L. Vaughan, «Automatic detection of gait events using kinematic data», *Gait Posture*, vol. 25, n.o 3, pp. 469-474, mar. 2007, doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.05.016.
- [10] S. Ghousayni, C. Stevens, S. Durham, y D. Ewins, «Assessment and validation of a simple automated method for the detection of gait events and intervals», *Gait Posture*, vol. 20, n.o 3, pp. 266-272, dic. 2004, doi: 10.1016/j.gaitpost.2003.10.001.
- [11] G. Rau, C. Disselhorst-Klug, y R. Schmidt, «Movement biomechanics goes upwards: from the leg to the arm», *J. Biomech.*, vol. 33, n.o 10, pp. 1207-1216, oct. 2000, doi: 10.1016/S0021-9290(00)00062-2.
- [12] N. A. Borghese, L. Bianchi, y F. Lacquaniti, «Kinematic determinants of human locomotion.», *J. Physiol.*, vol. 494, n.o 3, pp. 863-879, ago. 1996, doi: 10.1113/jphysiol.1996.sp021539.
- [13] K. P. Chaves Morales, D. S. Padilla Elizondo, y R. Vargas Fernández, «Enfermedad de Parkinson», *Rev. Medica Sinerg.*, vol. 7, n.o 2, p. e758, feb. 2022, doi: 10.31434/rms.v7i2.758.
- [14] L. M. Shulman et al., «The evolution of disability in Parkinson disease», *Mov. Disord.*, vol. 23, n.o 6, pp. 790-796, abr. 2008, doi: 10.1002/mds.21879.
- [15] R. Bouça-Machado et al., «Gait Kinematic Parameters in Parkinson's Disease: A Systematic Review», *J. Park. Dis.*, vol. 10, n.o 3, pp. 843-853, jul. 2020, doi: 10.3233/JPD-201969.
- [16] A. P. J. Zanardi et al., «Gait parameters of Parkinson's disease compared with healthy controls: a systematic review and meta-analysis», *Sci. Rep.*, vol. 11, n.o 1, p. 752, ene. 2021, doi: 10.1038/s41598-020-80768-2.
- [17] E. M. Hayworth, S. M. Casnave, C. Duppen, D. Rowland, N. Browner, y M. D. Lewek, «Limb and joint kinetics during walking in individuals with Mild-Moderate Parkinson's disease», *J. Biomech.*, vol. 167, p. 112076, abr. 2024, doi: 10.1016/j.jbiomech.2024.112076.
- [18] D. Devos, L. Defebvre, y R. Bordet, «Dopaminergic and non-dopaminergic pharmacological hypotheses for gait disorders in Parkinson's disease», *Fundam. Clin. Pharmacol.*, vol. 24, n.o 4, pp. 407-421, ago. 2010, doi: 10.1111/j.1472-8206.2009.00798.x.
- [19] M. Ghislieri, V. Agostini, L. Rizzi, M. Knaflitz, y M. Lanotte, «Atypical Gait Cycles in Parkinson's Disease», *Sensors*, vol. 21, n.o 15, p. 5079, jul. 2021, doi: 10.3390/s21155079.
- [20] Y.-R. Yang, Y.-Y. Lee, S.-J. Cheng, P.-Y. Lin, y R.-Y. Wang, «Relationships between gait and dynamic balance in early Parkinson's disease», *Gait Posture*, vol. 27, n.o 4, pp. 611-615, may 2008, doi: 10.1016/j.gaitpost.2007.08.003.
- [21] M. M. Hoehn, «Parkinsonism: onset, progression, and mortality».
- [22] M. H. Vila, R. Pérez, I. Mollinedo, y J. M. Cancela, «Analysis of Gait for Disease Stage in Patients with Parkinson's Disease», *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, n.o 2, p. 720, ene. 2021, doi: 10.3390/ijerph18020720.
- [23] L. Di Biase, L. Raiano, M. L. Caminiti, P. M. Pecoraro, y V. Di Lazzaro, «Parkinson's Disease Wearable Gait Analysis: Kinematic and Dynamic Markers for Diagnosis», *Sensors*, vol. 22, n.o 22, p. 8773, nov. 2022, doi: 10.3390/s22228773.