

# Dispositivos comerciales para la monitorización de síntomas en la enfermedad de Parkinson: beneficios, limitaciones y tendencias

Daniel Rodríguez-Martín, Carlos Pérez-López

**Resumen.** La enfermedad de Parkinson (EP) es un trastorno neurodegenerativo que afecta significativamente a la calidad de vida de los pacientes. El tratamiento de la EP requiere una evaluación precisa de los síntomas motores y no motores, que a menudo se complica por la subjetividad en el informe de síntomas y la limitada disponibilidad de neurólogos. Para abordar estos desafíos han surgido dispositivos comerciales vestibles que monitorizan los síntomas de la EP de manera continua y fuera del entorno clínico. Entre los principales dispositivos se encuentran PKG™, Kinesia 360™, Kinesia U™, PD-Monitor™ y STAT-ON™. Estos dispositivos utilizan tecnologías avanzadas, como acelerómetros, giroscopios y algoritmos específicos, para proporcionar datos objetivos sobre síntomas motores, como temblores, discinesia y bradicinesia. A pesar de su potencial, la adopción de estos dispositivos es limitada, debido a preocupaciones sobre su precisión, la complejidad de su uso y la falta de validación independiente. La correlación entre las mediciones de estos dispositivos y las observaciones clínicas tradicionales varía, y la usabilidad y la adhesión del paciente son áreas críticas de mejora. Para optimizar su utilidad y mejorar los resultados para los pacientes, es esencial realizar estudios de validación y usabilidad con un número suficiente de pacientes, desarrollar protocolos estandarizados y asegurar la integración con sistemas informáticos hospitalarios.

**Palabras clave.** Aprendizaje automático. Enfermedad de Parkinson. Evaluación objetiva. Monitorización. Síntomas motores. Sistemas vestibles.

## Introducción

La enfermedad de Parkinson (EP) es un desafío global de salud que afecta a millones de personas, con una prevalencia en aumento [1-3]. Los síntomas motores, como temblores, rigidez y bradicinesia, impactan profundamente en la vida diaria [4].

A pesar de los avances en la investigación, el manejo de la EP sigue siendo complejo, y depende de la experiencia del neurólogo y la percepción del propio paciente. Los pacientes tienen dificultades para identificar y distinguir síntomas específicos, a menudo confundidos [5-7]. Además, su relato está influido por su estado de ánimo, e informan de períodos positivos cuando se sienten bien y viceversa.

En respuesta a estos desafíos, los dispositivos *wearables* emergen como herramientas altamente prometedoras en el manejo de la EP. Diseñados específicamente para evaluar la EP, estos dispositivos ofrecen un nuevo enfoque al proporcionar datos

cuantitativos sobre los síntomas motores fuera de los entornos clínicos tradicionales [8,9]. Estos sistemas pueden medir continuamente los síntomas durante períodos prolongados en condiciones ambulatorias, proporcionando a los neurólogos información objetiva sobre la progresión de la enfermedad y las respuestas al tratamiento, lo que permite una toma de decisiones más informada e intervenciones personalizadas.

A pesar de su potencial, la adopción de estos dispositivos sigue siendo limitada. La principal razón es la falta de tiempo para aprender el funcionamiento de estas herramientas; otra es la falta de estudios que las validen; y, finalmente, los profesionales tienden a actuar en función del relato del paciente. Sin embargo, en un estudio reciente se mostró una baja correlación entre la percepción de los síntomas del clínico y del paciente [10]. Para superar estas barreras, los dispositivos deben contar con estudios de validación y usabilidad en la práctica clínica con suficientes pacientes, así como con re-

Sense4Care S.L. Cornellà de Llobregat (D. Rodríguez-Martín, C. Pérez-López). Consorci Sanitari Alt Penedès-Garraf. Vilanova i la Geltrú, España (C. Pérez-López).

### Correspondencia:

Dr. Daniel Rodríguez Martín. Sense4Care S.L. C/ Tirso de Molina, 36, oficina 18. E-08940 Cornellà de Llobregat, Barcelona.

### E-mail:

daniel.rodriguez@sense4care.com

Acceptado tras revisión externa: 09.10.24.

### Conflicto de intereses:

D.R.M y C.P.L. son accionistas de la empresa Sense4Care S.L., empresa que comercializa el STAT-ON™.

### Cómo citar este artículo:

Rodríguez-Martín D, Pérez-López C. Dispositivos comerciales para la monitorización de síntomas en la enfermedad de Parkinson: beneficios, limitaciones y tendencias. Rev Neurol 2024; 79: 229-37. doi: 10.33588/rn.7908.2024253.

© 2024 Revista de Neurología



comendaciones y protocolos estandarizados para optimizar su utilidad.

Esta revisión se centra en los principales dispositivos comercializados para monitorizar los síntomas motores. Además, también se han considerado todos los dispositivos prometedores que, aunque no tienen validación clínica, han recibido la aprobación de la Food and Drug Administration (FDA) o el certificado CE.

### Productos sanitarios recomendados por el National Institute for Health and Care Excellence (NICE)

En enero de 2023, el NICE del Reino Unido publicó una guía con dispositivos recomendados para la práctica clínica [11]. El objetivo era enfatizar la importancia de monitorizar los síntomas de la EP para ayudar a tomar decisiones informadas. El NICE identificó cinco tecnologías basadas en su validación y características: PKG™, Kinesia 360™, Kinesia U™, PDMonitor™ y STAT-ON™.

#### PKG™

El PKG™, desarrollado por Global Kinetics Pty Ltd, es un dispositivo de muñeca que monitoriza continuamente los síntomas motores de la EP. El dispositivo tiene certificado CE (clase IIa), de la FDA (clase 2) y TGA.

El algoritmo PKG™, publicado en 2012 por Griffiths et al [12], analiza señales de acelerómetro de la muñeca en ventanas de dos minutos y aplica un clasificador estadístico basado en umbrales.

Una de las validaciones se realizó mediante la *Unified Parkinson's Disease Rating Scale* (UPDRS) y obtuvo un valor significativo de  $r = 0,64$  ( $p < 0,0005$ ). El dispositivo ha sido ampliamente probado en condiciones clínicas y comparado con la UPDRS [13-15]. No obstante, en un estudio sólo el 27% de los pacientes calificó positivamente en el informe de PKG y el 59% consideró que el uso de PKG era valioso para ofrecer información útil a los clínicos [16]. En el estudio de Ossig et al [5], el acuerdo fue moderado a alto en el número total de estados *off* y *on* con y sin discinesia ( $K = 0,404$  en *off* con bradicinesia y  $K = 0,658$  en *on* con discinesia). Sin embargo, se encontró un acuerdo de bajo a moderado al comparar cada hora individualmente (en *off* con bradicinesia,  $K = 0,215$ , y en *on* con discinesia,  $K = 0,324$ ). De acuerdo con Monje et al [8], el PKG ha sido ampliamente validado, aunque necesita una validación más independiente.

#### Kinesia 360™ y Kinesia U™

Great Lakes Neurotechnologies (GLN) es el fabricante de Kinesia 360™, un sistema de dispositivos doble (muñeca y tobillo), y Kinesia U™, un dispositivo de muñeca. El dispositivo incorpora un acelerómetro y un giroscopio triaxial. GLN fue la primera empresa en obtener la autorización FDA. En Europa, Kinesia 360™ se considera un dispositivo de clase I y proporciona información sobre temblor, discinesia, lentitud, movilidad, postura y pasos [17].

La cuantificación de la bradicinesia realizada en un dispositivo montado en el tobillo se basa en el análisis de características de frecuencia a través de un modelo de regresión lineal que están correlacionadas con las puntuaciones de la UPDRS [18,19]. El algoritmo para la discinesia también se basa en un modelo de regresión lineal con sensores colocados en el lado más afectado del cuerpo [20]. La correlación obtenida con la escala modificada de movimientos involuntarios anormales (mAIMS) es significativa ( $r = 0,77$ ).

GLN también lanzó un dispositivo llamado Kinesia U™ para la monitorización continua, pero también para tareas específicas. La principal ventaja de este nuevo dispositivo fue eliminar el dispositivo montado en el tobillo, que mejoró la adhesión del paciente a esta tecnología, ya que sólo requería que se usase un dispositivo de muñeca. Sin embargo, no hay evidencia de la afectación al algoritmo de discinesias o bradicinesia. Pulliam et al [21] mostraron que Kinesia tiene buena precisión para el temblor, la discinesia y la bradicinesia, con un área bajo la curva (AUC) de 0,89 y 0,86 para el temblor y la discinesia, respectivamente. El algoritmo de bradicinesia tiene un AUC de 0,82 y una tasa de falsos positivos de 0,34.

#### PDMonitor™

PDMonitor™ es un sistema compuesto por cinco dispositivos diseñados para caracterizar de manera integral todos los síntomas motores de un paciente con EP desde cualquier parte del cuerpo. El dispositivo, fabricado por PDNeurotechnology, cuenta con el certificado CE clase IIa. Cada dispositivo incluye un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro [22]. Esto elimina la necesidad de elegir el lado más afectado, permitiendo la monitorización de movimientos de las extremidades superiores, las extremidades inferiores y el tronco.

El sistema fue diseñado dentro del proyecto PERFORM [23] y sus algoritmos se basan en algoritmos de aprendizaje automático. Los algoritmos se descri-

ben brevemente en diferentes publicaciones, e incluyen el temblor [24], la discinesia [25], la bradicinesia [26] y la congelación de la marcha [27]. También se proporcionan parámetros de la marcha y los estados *on* y *off* [28]. Cada algoritmo emplea un método de clasificación distinto. Por ejemplo, el algoritmo de detección de temblor utiliza modelos de Markov ocultos y logra una precisión de 0,87. El algoritmo de detección de la discinesia se basa en un árbol de decisiones con una precisión de clasificación de 0,85. El algoritmo de detección de la bradicinesia utiliza máquinas de vectores de soporte y tiene una precisión de clasificación de 0,745. Para este clasificador de aprendizaje automático, 20 pacientes participaron en entornos clínicos y 24 en entornos domésticos. El algoritmo para la congelación de la marcha, por otro lado, emplea un clasificador de *random forest* que alcanza una precisión de 0,96 [27].

Aunque el dispositivo ofrece un mapa integral de los síntomas motores, existen dudas sobre la usabilidad del dispositivo, debido a que utiliza cinco dispositivos separados [9].

### STAT-ON™

STAT-ON™ es un dispositivo médico de clase IIa que se lleva en la cintura [29]. El dispositivo fue diseñado bajo el proyecto REMPARK [30] y ha sido comercializado por Sense4Care S.L. El objetivo del dispositivo es minimizar el número de sensores maximizando la precisión de los algoritmos mediante la medición de síntomas desde una posición cercana al centro del cuerpo humano y utilizando técnicas de aprendizaje automático entrenadas con grandes bases de datos.

El sistema detecta bradicinesia [31], discinesia [32], congelación de la marcha [33], parámetros de la marcha [34], caídas [35] y fluctuaciones *on* y *off* [36]. STAT-ON™ se basa en algoritmos de aprendizaje automático, más concretamente en clasificadores de máquinas de vectores de soporte. La base de datos se obtuvo en entornos domésticos y fue grabada por vídeo. Para la validación, se utilizaron diarios y un clínico llamaba al paciente cada dos horas para asegurar el estado motor anotado. Participaron 92 pacientes, y es la base de datos más grande en ambientes domésticos.

El algoritmo para estados *on* y *off* se evaluó en tres estudios [36-38], y obtuvo valores de sensibilidad y especificidad superiores a 0,92. El algoritmo de bradicinesia se evaluó utilizando subescalas de la UPDRS y logró una correlación moderada-alta de 0,67 ( $p < 0,01$ ) [39]. El algoritmo de discinesia logró una sensibilidad y una especificidad por enci-

ma de 0,9, a excepción de las discinesias distales, en las que sólo se alcanzó un 0,39 de sensibilidad [40]. El algoritmo de congelación de la marcha se ha evaluado en varios estudios y ha alcanzado valores de sensibilidad, especificidad y AUC por encima de 0,8 [41]. Finalmente, un ensayo clínico con 84 pacientes con EP comparó STAT-ON™ con los diarios, con la UPDRS como referencia, y obtuvo una correlación de 0,63 ( $p < 0,001$ ) frente al 0,24 obtenido por los diarios [42].

Tras presentar los dispositivos más importantes, a continuación, se muestra una tabla resumen (Tabla I) con las características fundamentales consideradas.

### Otros dispositivos wearables

En los últimos dos años han surgido varias tecnologías que han obtenido su certificación como dispositivos médicos. Es justo considerar que estas tecnologías pueden ser tan válidas como las anteriores, aunque su validación clínica es significativamente inferior.

### Neptune™

Neptune™, de Orbit Health GmbH, es un dispositivo de clase IIa que monitoriza la bradicinesia, la discinesia y los estados *on/off*. El algoritmo utiliza técnicas de *deep learning* para la detección de los estados *on*, *off* y de discinesia [43]. La sensibilidad y la especificidad obtenidas para *off* fueron de 0,64/0,89; para *on*, de 0,67/0,67; y para la discinesia, de 0,64/0,89. Sin embargo, la correlación entre los datos completos obtenidos y la escala 3,14 de la Movement Disorders Society-UPDRS fue alta, con 0,83 para la bradicinesia y 0,84 para la detección de la discinesia según el ítem 5 de la AIMS. Las correlaciones con ventanas más cortas (una hora, 30 minutos, cinco minutos y un minuto) disminuyen, pero mantienen una correlación moderada/alta, y pasan de 0,775 para la discinesia y 0,735 para la bradicinesia en 60 minutos a 0,703 para la discinesia y 0,632 para la bradicinesia con una longitud de ventana de un minuto.

### PD-Watch™

PD-Watch™, de Biomedical Lab s.r.l., es un dispositivo de muñeca clasificado como de clase I basado en sensores inerciales. Tiene una duración de batería de 15 días. Los datos se registran y luego se suben a un servidor en la nube, desde donde se procesan y se devuelve un informe. El dispositivo es ca-

**Tabla I.** Principales sensores comerciales y recomendados por el National Institute for Health and Care Excellence en el Reino Unido.

	Nombre del dispositivo	Ubicación del dispositivo	Síntomas detectados	Algoritmo	Número de pacientes empleados para entrenar	Certificación de producto sanitario	Puntos débiles	Puntos fuertes
PKGHealth	PKG™	Un sensor de muñeca	<i>On/off</i> , bradicinesia (brazos), discinesia (brazos), temblor, inactividad	Método estadístico	–	FDA/CE clase IIa/TGA	Detección de síntomas sólo en el brazo/informe difícil de leer	Usabilidad
Great Lakes Neurotech	Kinesia360™	Dos sensores (muñeca/tobillo)	Temblor, discinesia, bradicinesia, movilidad, postura, pasos	Modelo de regresión	–	FDA/CE clase I/TGA	Usabilidad	Datos sobre la marcha además de la muñeca
Great Lakes Neurotech	Kinesiau™	Un sensor de muñeca	Temblor, discinesia, bradicinesia	Modelo de regresión	–	FDA/UKCA	Detección de síntomas sólo en el brazo	Usabilidad
PD Neurotechnology	PDMonitor™	Cinco sensores	<i>On/off</i> , bradicinesia, discinesia, temblor, congelación de la marcha, parámetros de la marcha, inactividad/descanso	Aprendizaje automático supervisado en ambiente clínico y doméstico	20 en clínica, 24 en ambiente doméstico	CE clase IIa	Usabilidad/informe difícil de leer	Evaluación completa del paciente
Sense4Care	STAT-ON™	Un sensor de cintura	<i>On/off</i> , bradicinesia, discinesia, congelación de la marcha, parámetros de la marcha, caídas, inactividad	Aprendizaje automático supervisado en ambiente doméstico	92 en ambiente doméstico + 10 para discinesia	CE clase IIa	Temblor no detectado	Precisión de los algoritmos con un solo dispositivo

CE: conformidad europea; FDA: Food and Drug Administration; UKCA: UK Conformity Assessment.

paz de detectar *on/off*, bradicinesia [44], temblor [45], discinesia [46] e inactividad con ausencia de movimiento. PD-Watch también puede detectar la gravedad de la discinesia. Todos los algoritmos se basan en la extracción de características de frecuencia y un árbol de decisiones [44]. Los resultados muestran más de 0,8 en sensibilidad, especificidad y precisión en todos los algoritmos. Se necesita más evidencia externa para este sistema algorítmico basado en umbrales.

### StrivePD™ (Rune Labs) y Parky™ (h2o Therapeutics)

En 2021, Powers et al [47] publicaron un artículo sobre un *smartwatch* llamado MM4PD que podía monitorizar el temblor y la discinesia en la EP. El estudio se dividió en tres fases. La primera se llevó a cabo en clínicas y fue grabada en vídeo. Un subconjunto de pacientes participó en un período de medición de una semana fuera de la clínica para obtener datos de la vida diaria. En la segunda fase participaron 225 pacientes con EP, de los cuales 143 se utilizaron para diseñar el algoritmo y 82 para la validación. Finalmente, se realizó una tercera parte con 171 usuarios de control.

El método de clasificación no está publicado, lo que, de acuerdo con Bloem et al [48] y los propios autores de esta revisión, resta mucha credibilidad al rendimiento de los algoritmos. El algoritmo clasifica los temblores esenciales en leves, moderados y graves, además de discinesia. Sin embargo, en 69 pacientes, los médicos no estuvieron de acuerdo con la etiqueta de discinesia.

De este método resultaron dos soluciones: StrivePD™ de Rune Labs y Parky™ de h2o Therapeutics. Los dos dispositivos obtuvieron la autorización 510(K) de la FDA y afirman detectar temblores y discinesias en su uso previsto. Aunque los algoritmos son los mismos y funcionan en el Apple Watch, la disposición de sus soluciones y sus servicios son diferentes.

### NeuroRPM™ (NeuroRPM Inc.)

NeuroRPM™, de NeuroRPM Inc., es otro *software* que funciona en un Apple Watch y, además de detectar discinesia y temblor, también detecta bradicinesia. No hay evidencia científica en la bibliografía de este dispositivo, pero sí hay un informe resumido en la autorización de la FDA, que expone un

estudio con 36 pacientes con EP y una sensibilidad y especificidad de 0,718 y 0,951 para el temblor, 0,714 y 0,774 para la bradicinesia, y 0,712 y 0,947 para la discinesia. Los resultados se proporcionan cada 15 minutos y son binarios para cada uno de los tres resultados: temblor (sí/no), discinesia (sí/no) y bradicinesia (de leve a normal/grave). NeuroRPM™ ha registrado un ensayo clínico (NCT 05680961) que se lleva a cabo en el Parkinson's & Movement Disorders Center de Maryland. La falta de información sobre el algoritmo es una carencia importante debido a la existencia de numerosos dispositivos de muñeca.

### Feetme™ (Feetme) and Nushu™ (Magnes)

Feetme™ es un dispositivo que consta de dos plantillas y una aplicación para gestionarlas. Este sistema puede monitorizar continuamente el movimiento y la presión del pie para obtener parámetros de la marcha. El dispositivo incluye un acelerómetro triaxial, un giroscopio y 18 sensores de presión capacitivos [49]. Feetme™ ha recibido la clasificación ClassIm en Europa y es un dispositivo médico exento de FDA 510(k) clase I.

La aplicación se conecta al sistema, que sube los datos inerciales y de presión, y los procesa para proporcionar diferentes resultados. Algunos de estos resultados son parámetros de la marcha, como velocidad de zancada, cadencia, longitud de zancada, tiempo de paso, tiempo de zancada, tiempo de balanceo, tiempo de apoyo y tiempo de apoyo simple y doble [5], y se empleó también para evaluar la EP [50].

Otro dispositivo con un uso similar es Nushu™, de Magnes, que ha sido registrado en la FDA como un dispositivo de clase 2. El sistema es un calzado en lugar de plantillas y utiliza un sistema inercial con un magnetómetro sin sensores de presión [51]. Se proporcionan valores como velocidad, tiempo y longitud de zancada, tiempo de balanceo, cadencia, simetría y variabilidad de los pasos. Los algoritmos de Nushu™ también utilizaron máquinas de vector soporte para detectar fases de la marcha, y mostraron un alto nivel algorítmico [52]. El dispositivo sólo se ha probado con usuarios sanos, aunque está prevista su utilización en el campo de la EP [51].

### Otras tecnologías para caracterizar los síntomas motores de la enfermedad de Parkinson

Los sistemas *wearables* son una solución muy poco invasiva que permite la caracterización de parámetros

relacionados con el movimiento. El sistema más utilizado es el acelerómetro, aunque el giroscopio y el magnetómetro también se utilizan. Otra de las tecnologías relacionadas con el movimiento son los sensores de electromiografía.

La electromiografía de superficie es una técnica no invasiva utilizada para medir la actividad eléctrica producida por los músculos, lo que la convierte en una herramienta valiosa en la investigación y gestión de la EP [53-56]. En el contexto de la EP, la electromiografía de superficie puede utilizarse para analizar los patrones de actividad muscular que a menudo se ven interrumpidos por la condición (rigidez o discinesia distónica).

La electromiografía de superficie también puede ayudar a monitorizar los temblores proporcionando datos detallados sobre su frecuencia e intensidad, o en la evaluación de la rigidez muscular y la coordinación [57]. Con la ayuda de un acelerómetro, el sistema podría proporcionar un estado integral del paciente [58]. En el mercado, podemos encontrar Adamant Health [59] y Paragit Neurotech [60]. Mientras que Adamant Health tiene un bagaje científico muy notable y una validación científica significativa basada en la electromiografía en sí [55,61-65], la solución de Paragit, aunque carece de evidencia, combina los sensores de electromiografía de superficie con un acelerómetro y un giroscopio [60].

Hay otros dispositivos de carácter más general, como Ultium™ de Noraxon [66], Trigno™ de Delsys [67], Freeemg™ de BTS Bioengineering [68,69] y Mini Wave™ de Cometa [7]. Todos ellos se han utilizado para caracterizar algunos síntomas motores o parámetros de la marcha en la EP.

Por otra parte, existen otros sensores portátiles que se han enfocado en la evaluación y la monitorización de la marcha, especialmente en el contexto de la EP. Estos dispositivos ofrecen un medio no invasivo, continuo y objetivo para capturar parámetros detallados de la marcha en entornos del mundo real, lo cual es crucial tanto para la gestión clínica como para la investigación. Empresas como APDM Wearable Technologies, McRoberts, Gait Up, Moticon, Ephion Health y MHealth Technologies han desarrollado sistemas portátiles sofisticados que son particularmente útiles en la gestión de la EP, con pruebas como el *timed-up and go*, pruebas de marcha de dos y seis minutos y giros, entre otras [71-73]. Sin embargo, por ahora, estos fabricantes ofrecen métricas no relacionadas con los síntomas de la EP, pero sí que están relacionadas con la movilidad y con el análisis de la marcha.

**Tabla II.** Recomendaciones generales para el uso de sensores en el campo del Parkinson.

	Dispositivos de muñeca	Dispositivos de cintura	Sistemas multisensores	Sensores en zapatillas
Temblor	Sí	No	Sí	No
Bradicinesia	Orientativo	Sí	Sí	No validado
Discinesia	Orientativo	Sí	Sí	No
Congelación de la marcha	No	Sí	Sí	No validado
Fluctuaciones <i>on y off</i>	Orientativo	Sí	Sí	No validado
Marcha	No	Sí	Sí	Sí
Trastornos del sueño	Sí	Incómodo	Incómodo	No
Detección de síntomas tempranos	No	Sí	Sí	No
Detección de candidatos para terapia de segunda línea	No	Sí	Sí	No
Paciente psiquiátrico	Sí	No	No	Sí
Paciente con estado cognitivo deteriorado	Sí	No	No	Sí
Rehabilitación	No	Sí	Sí	Sí
Paciente en silla de ruedas	Sí	No	No	No
Usabilidad	Muy alta	Alta	Muy baja	Baja

## Discusión

En este artículo se han presentado diversos sensores para la monitorización de pacientes con EP. Los profesionales de la salud se enfrentan a preguntas como: ¿cuál es el mejor sensor? ¿Es confiable? ¿El paciente tendrá buena adhesión? Estas preguntas son difíciles de responder debido a la variabilidad de los estudios y las necesidades individuales.

Si bien la ubicación del sensor es importante, cabe destacar que los *smartwatches* tienen la mejor usabilidad, pero la menor precisión. Los sistemas múltiples aumentan la precisión, pero reducen la adhesión, y los sistemas de tronco maximizan ambas características, pero no se obtiene información de síntomas distales.

En el caso de poner solamente un sensor, la bibliografía ha demostrado que los dispositivos en el tronco superan en precisión a los dispositivos de muñeca [74-78]. En un estudio [79], la sensibilidad fue un 20% mayor en dispositivos de cintura y, en pacientes con enfermedades como la EP, esta diferencia aumentó considerablemente.

En la tabla II se presenta el uso de diferentes sistemas para la monitorización de síntomas motores de la EP.

## Conclusiones

Los dispositivos para la monitorización de los síntomas de la EP representan un avance significativo

en el tratamiento de esta condición. Estos dispositivos ofrecen datos continuos y objetivos sobre los síntomas motores, lo cual puede ayudar a los clínicos a tomar decisiones más acertadas y potencialmente mejorar los resultados de los pacientes. Proporcionan información detallada sobre síntomas como la bradicinesia, la congelación de la marcha, fluctuaciones *on/off* y la discinesia durante períodos prolongados en entornos del mundo real, mejorando el diagnóstico y la monitorización.

Si bien los métodos clásicos han demostrado ser útiles, también tienen ciertas limitaciones. Los dispositivos discutidos en este artículo complementan la información obtenida de los ensayos clínicos tradicionales y estudios.

Sin embargo, hay varios desafíos que deben abordarse para que estos dispositivos se adopten ampliamente. Por una parte, se requiere más validación externa y, por otra parte, romper las barreras tecnológicas mediante la simplificación del uso de estas herramientas como aplicaciones e informes más intuitivos o sistemas de un solo sensor que facilite la monitorización.

Superar estas barreras optimizará la utilidad de estas herramientas y asegurará mejores resultados para los pacientes, cuidadores y proveedores de atención médica.

## Bibliografía

- Kalia L V, Lang AE. Parkinson's disease. *The Lancet* 2015; 386: 896-912.
- Maserejian N, Vinikoor-Imler L, Dilley A. Estimation of the 2020 Global Population of Parkinson's Disease (PD). *International Congress of Parkinson's Disease and Movement Disorders*. 2020. URL: <https://www.mdsabstracts.org/abstract/estimation-of-the-2020-global-population-of-parkinsons-disease-pd>. Fecha de última consulta: 10.10.2024.
- Dorsey ER, Elbaz A, Nichols E, Abbasi N, Abd-Allah F, Abdelalim A, et al. Global, regional, and national burden of Parkinson's disease, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol* 2018; 17: 939-53.
- Stoker TB, Greenland JC, eds. *Parkinson's disease: pathogenesis and clinical aspects*. Singapore: Codon Publications; 2018.
- Ossig C, Gandor F, Fauser M, Bosredon C, Churilov L, Reichmann H, et al. Correlation of quantitative motor state assessment using a kinetograph and patient diaries in advanced PD: data from an observational study. *PLoS One* 2016; 11: e0161559.
- Papapetropoulos SS. Patient Diaries as a clinical endpoint in Parkinson's disease clinical trials. *CNS Neurosci Ther* 2012; 18: 380-7.
- Goetz CG, Stebbins GT, Blasucci LM, Grobman MS. Efficacy of a patient training videotape on motor fluctuations for on/off diaries in Parkinson's disease. *Mov Disord* 1997; 12: 1039-41.
- Monje MHG, Foffani G, Obeso J, Sánchez-Ferro Á. New sensor and wearable technologies to aid in the diagnosis and treatment monitoring of Parkinson's disease. *Annu Rev Biomed Eng* 2019; 21: 111-43.

9. Moreau C, Rouaud T, Grabli D, Benatru I, Remy P, Marques AR, et al. Overview on wearable sensors for the management of Parkinson's disease. *NPJ Parkinsons Dis* 2023; 9: 153.
10. Timpka J, Löhle M, Bremer A, Christiansson S, Gandor F, Ebersbach G, et al. Objective observer vs. patient motor state assessments using the PD home diary in advanced Parkinson's disease. *Front Neurol* 2022; 13: 935664.
11. The National Institute for Health and Care Excellence. Devices for remote monitoring of Parkinson's disease. 2024. URL: <https://www.nice.org.uk/guidance/dg51>. Fecha de última consulta: 10.10.2024.
12. Griffiths RI, Kotschet K, Arfon S, Xu ZM, Johnson W, Drago J, et al. Automated assessment of bradykinesia and dyskinesia in Parkinson's disease. *J Parkinsons Dis* 2012; 2: 47-55.
13. Chen L, Cai G, Weng H, Yu J, Yang Y, Huang X, et al. More sensitive identification for bradykinesia compared to tremors in Parkinson's disease based on Parkinson's KinetiGraph (PKG). *Front Aging Neurosci* 2020; 12: 594701.
14. Horne MK, McGregor S, Bergquist F. An objective fluctuation score for Parkinson's disease. *PLoS One* 2015; 10: e0124522.
15. Löhle M, Timpka J, Bremer A, Khodakarami H, Gandor F, Mera M, et al. Application of single wrist-wearable accelerometry for objective motor diary assessment in fluctuating Parkinson's disease. *NPJ Digit Med* 2023; 6: 194.
16. Dominey T, Kehagia AA, Gorst T, Pearson E, Murphy F, King E, et al. Introducing the Parkinson's KinetiGraph into routine Parkinson's disease care: a 3-year single centre experience. *J Parkinsons Dis* 2020; 10: 1827-32.
17. Kinesia objective assessment. 2021. URL: <http://glneurotech.com/kinesia/products/kinesia-360/>. Fecha de última consulta: 10.10.2024.
18. Mera TO, Filipkowski DE, Riley DE, Whitney CM, Walter BL, Gunzler SA, et al. Quantitative analysis of gait and balance response to deep brain stimulation in Parkinson's disease. *Gait Posture* 2013; 38: 109-14.
19. Heldman DA, Filipkowski DE, Riley DE, Whitney CM, Walter BL, Gunzler SA, et al. Automated motion sensor quantification of gait and lower extremity bradykinesia. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2012; 2012: 1956-9.
20. Pulliam CL, Burack MA, Heldman DA, Giuffrida JP, Mera TO. Motion sensor dyskinesia assessment during activities of daily living. *J Parkinsons Dis* 2014; 4: 609-15.
21. Pulliam CL, Heldman DA, Brokaw EB, Mera TO, Mari ZK, Burack MA. Continuous assessment of levodopa response in Parkinson's disease using wearable motion sensors. *IEEE Trans Biomed Eng* 2018; 65: 159-64.
22. Reichmann H, Klingelhofer L, Bendig J. The use of wearables for the diagnosis and treatment of Parkinson's disease. *J Neural Transm* 2023; 130: 783-91.
23. Tzallas AT, Tsiouras MG, Rigas G, Tsalikakis DG, Karvounis EC, Chondrogiorgi M, et al. Perform: a system for monitoring, assessment and management of patients with Parkinson's disease. *Sensors (Basel)* 2014; 14: 21329-57.
24. Rigas G, Tzallas AT, Tsiouras MG, Bougia P, Tripoliti EE, Baga D, et al. Assessment of tremor activity in the parkinson's disease using a set of wearable sensors. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2012; 16: 478-87.
25. Tsiouras MG, Tzallas AT, Rigas G, Tsouli S, Fotiadis DI, Konitsiotis S. An automated methodology for levodopa-induced dyskinesia: assessment based on gyroscope and accelerometer signals. *Artif Intell Med* 2012; 55: 127-35.
26. Pastorino M, Cancela J, Arredondo MT, Pansera M, Pastor-Sanz L, Villagra F, et al. Assessment of bradykinesia in Parkinson's disease patients through a multi-parametric system. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2011; 2011: 1810-3.
27. Tripoliti EE, Tzallas AT, Tsiouras MG, Rigas G, Bougia P, Leontiou M, et al. Automatic detection of freezing of gait events in patients with Parkinson's disease. *Comput Methods Programs Biomed* 2013; 110: 12-26.
28. Kanellos FS, Tsamis KI, Rigas G, Simos YV, Katsenos AP, Kartsakalis G, et al. Clinical evaluation in Parkinson's disease: is the golden standard shiny enough? *Sensors* 2023; 23: 3807.
29. Rodríguez-Martín D, Cabestany J, Pérez-López C, Pie M, Calvet J, Samà A, et al. A new paradigm in Parkinson's disease evaluation with wearable medical devices: a review of STAT-ON™. *Front Neurol* 2022; 13: 912343.
30. Cabestany J, Bayés À. Parkinson's disease management through ICT: the REMPARK approach. Aalborg: River Publishers; 2017.
31. Samà A, Pérez-López C, Rodríguez-Martín D, Català A, Moreno-Aróstegui JM, Cabestany J, et al. Estimating bradykinesia severity in Parkinson's disease by analysing gait through a waist-worn sensor. *Comput Biol Med* 2017; 84: 114-23.
32. Pérez-López C, Samà A, Rodríguez-Martín D, Moreno-Aróstegui JM, Cabestany J, Bayes A, et al. Dopaminergic-induced dyskinesia assessment based on a single belt-worn accelerometer. *Artif Intell Med* 2016; 67: 47-56.
33. Rodríguez-Martín D, Samà A, Pérez-López C, Català A, Arostegui JMM, Cabestany J, et al. Home detection of freezing of gait using Support Vector Machines through a single waist-worn triaxial accelerometer. *PLoS One* 2017; 12: e0171764.
34. Sayeed T, Samà A, Català A, Rodríguez-Molinero A, Cabestany J. Adapted step length estimators for patients with Parkinson's disease using a lateral belt worn accelerometer. *Technol Health Care* 2015; 23: 179-94.
35. Cabestany J, Moreno JM, Perez C, Sama A, Catala A. FATE: one step towards an automatic aging people fall detection service. 20<sup>th</sup> International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. 2013.
36. Pérez-López C, Samà A, Rodríguez-Martín D, Català A, Cabestany J, Moreno-Arostegui J, et al. Assessing motor fluctuations in Parkinson's disease patients based on a single inertial sensor. *Sensors* 2016; 16: 2132.
37. Rodríguez-Molinero A, Samà A, Pérez-Martínez DA, Pérez-López C, Romagosa J, Bayés À, et al. Validation of a portable device for mapping motor and gait disturbances in Parkinson's disease. *JMIR Mhealth Uhealth* 2015; 3: e9.
38. Bayés A, Samà A, Prats A, Pérez-López C, Crespo-Maraver M, Moreno JM, et al. A 'HOLTER' for Parkinson's disease: validation of the ability to detect on-off states using the REMPARK system. *Gait Posture* 2018; 59: 1-6.
39. Rodríguez-Molinero A, Samà A, Pérez-López C, Rodríguez-Martín D, Alcaine S, Mestre B, et al. Analysis of correlation between an accelerometer-based algorithm for detecting parkinsonian gait and UPDRS subscales. *Front Neurol* 2017; 8: 3-8.
40. Rodríguez-Molinero A, Pérez-López C, Samà A, Rodríguez-Martín D, Alcaine S, Mestre B, et al. Estimating dyskinesia severity in Parkinson's disease by using a waist-worn sensor: concurrent validity study. *Sci Rep* 2019; 9: 13434.
41. Zampogna A, Borzi L, Rinaldi D, Artusi CA, Imbalzano G, Patera M, et al. Unveiling the unpredictable in parkinson's disease: sensor-based monitoring of dyskinesias and freezing of gait in daily life. *Bioengineering* 2024; 11: 440.
42. Pérez-López C, Hernández-Vara J, Caballol N, Bayes À, Buongiorno M, Lopez-Ariztegui N, et al. Comparison of the results of a Parkinson's Holter monitor with patient diaries, in real conditions of use: a sub-analysis of the MoMoPa-EC clinical trial. *Front Neurol* 2022; 13: 835249.
43. Pfister FMJ, Um TT, Pichler DC, Goschenhofer J, Abedinpour K, Lang M, et al. High-resolution motor state detection in Parkinson's disease using convolutional neural networks. *Sci Rep* 2020; 10: 5860.
44. Battista L, Casali M, Brusa L, Radicati FG, Stocchi F. Clinical assessment of a new wearable tool for continuous and objective recording of motor fluctuations and ON/OFF states in patients with Parkinson's disease. *PLoS One* 2023; 18: e0287139.
45. Battista L, Romaniello A. A wearable tool for continuous monitoring of movement disorders: clinical assessment and

- comparison with tremor scores. *Neurol Sci* 2021; 42: 4241-8. doi:
46. Battista L, Romaniello A. A wearable tool for selective and continuous monitoring of tremor and dyskinesia in Parkinsonian patients. *Parkinsonism Relat Disord* 2020; 77: 43-7.
  47. Powers R, Etezadi-Amoli M, Arnold EM, Kianian S, Mance I, Gibiansky M, et al. Smartwatch inertial sensors continuously monitor real-world motor fluctuations in Parkinson's disease. *Sci Transl Med* 2021; 13: eabd7865.
  48. Bloem BR, Post E, Hall D. An apple a day to keep the Parkinson's disease doctor away? *Ann Neurol* 2023; 93: 681-5.
  49. Mostovov A, Jacobs D, Farid L, Dhellin P, Baille G. Validation of the six-minute walking distance measured by FeetMe<sup>®</sup> insoles. *BMC Digital Health* 2023; 1: 48.
  50. Parati M, Gallotta M, Muletti M, Pirola A, Bellafà A, De Maria B, et al. Validation of pressure-sensing insoles in patients with Parkinson's disease during overground walking in single and cognitive dual-task conditions. *Sensors* 2022; 22: 6392.
  51. Wu J, Kuruvithadam K, Schaer A, Stoneham R, Chatzipirpiridis G, Easthope CA, et al. An intelligent in-shoe system for gait monitoring and analysis with optimized sampling and real-time visualization capabilities. *Sensors* 2021; 21: 2869.
  52. Wu J, Becsek B, Schaer A, Maurenbrecher H, Chatzipirpiridis G, Ergeneman O, et al. Real-time gait phase detection on wearable devices for real-world free-living gait. *IEEE J Biomed Health Inform* 2023; 27: 1295-306.
  53. Nieuwboer A, Dom R, De Weerd W, Desloovere K, Janssens L, Stijn V. Electromyographic profiles of gait prior to onset of freezing episodes in patients with Parkinson's disease. *Brain* 2004; 127: 1650-60.
  54. Rissanen S, Kankaanpää M, Tarvainen MP, Nuutinen J, Tarkka IM, Airaksinen O, et al. Analysis of surface EMG signal morphology in Parkinson's disease. *Physiol Meas* 2007; 28: 1507-21.
  55. Meigal AY, Rissanen SM, Zaripova YR, Miroshnichenko GG, Karjalainen P. Nonlinear parameters of surface electromyogram for diagnostics of neuromuscular disorders and normal conditions of the human motor system. *Hum Physiol* 2015; 41: 672-9.
  56. Meigal AY, Rissanen SM, Tarvainen MP, Airaksinen O, Kankaanpää M, Karjalainen PA. Non-linear EMG parameters for differential and early diagnostics of Parkinson's disease. *Front Neurol* 2013; 4: 135.
  57. Ruonala V, Meigal A, Rissanen SM, Airaksinen O, Kankaanpää M, Karjalainen PA. EMG signal morphology and kinematic parameters in essential tremor and Parkinson's disease patients. *J Electromyogr Kinesiol* 2014; 24: 300-6.
  58. Rissanen SM, Koivu M, Hartikainen P, Pekkonen E. Ambulatory surface electromyography with accelerometry for evaluating daily motor fluctuations in Parkinson's disease. *Clin Neurophysiol* 2021; 132: 469-79.
  59. Adamant Health. URL: <https://adamanthealth.com/>. 2024. Fecha de última consulta: 10.10.2024.
  60. Paragit Solutions. Paragit Solutions. URL: <https://www.paragit.com/>. 2024. Fecha de última consulta: 10.10.2024.
  61. Ruonala V, Pekkonen E, Airaksinen O, Kankaanpää M, Karjalainen PA, Rissanen SM. Levodopa-induced changes in electromyographic patterns in patients with advanced Parkinson's disease. *Front Neurol* 2018; 9: 35.
  62. Ruonala V, Pekkonen E, Airaksinen O, Kankaanpää M, Karjalainen PA, Rissanen SM. Changes in elbow flexion EMG morphology during adjustment of deep brain stimulator in advanced Parkinson's disease. *PLoS One* 2022; 17: e0266936.
  63. Meigal AY, Rissanen SM, Tarvainen MP, Ruonala V, Airaksinen O, Kankaanpää M, et al. Novel sEMG parameters for early diagnostics of neurological diseases and aging. *Journal of Biomedical Technologies* 2014; 1: 2-9.
  64. Rissanen SM, Ruonala V, Pekkonen E, Kankaanpää M, Airaksinen O, Karjalainen PA. Signal features of surface electromyography in advanced Parkinson's disease during different settings of deep brain stimulation. *Clin Neurophysiol* 2015; 126: 2290-8.
  65. Miroshnichenko GG, Meigal AY, Saenko IV, Gerasimova-Meigal LI, Chernikova LA, Subbotina NS, et al. Parameters of surface electromyogram suggest that dry immersion relieves motor symptoms in patients with parkinsonism. *Front Neurosci* 2018; 12: 667.
  66. Cantú H, Nantel J, Millán M, Paquette C, Côté JN. Abnormal muscle activity and variability before, during, and after the occurrence of freezing in Parkinson's disease. *Front Neurol* 2019; 10: 951.
  67. Kugler P, Jaremenko C, Schlachetzki J, Winkler J, Klucken J, Eskofier B. Automatic recognition of Parkinson's disease using surface electromyography during standardized gait tests. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2013; 2013: 5781-4.
  68. Bailey CA, Corona F, Murgia M, Pili R, Pau M, Côté JN. Electromyographical gait characteristics in parkinson's disease: effects of combined physical therapy and rhythmic auditory stimulation. *Front Neurol* 2018; 9: 211.
  69. Haufe S, Isaias IU, Pellegrini F, Palmisano C. Gait event prediction using surface electromyography in parkinsonian patients. *Bioengineering* 2023; 10: 212.
  70. Pacini Panebianco G, Ferrazzoli D, Frazzitta G, Fonsato M, Bisi MC, Fantozzi S, et al. A statistical approach for the assessment of muscle activation patterns during gait in Parkinson's disease. *Electronics (Basel)* 2020; 9: 1641.
  71. Podsiadlo D, Richardson S. The timed 'Up & Go': a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991; 39: 142-8.
  72. Hill EJ, Mangleburg CG, Alfradique-Dunham I, Ripperger B, Stillwell A, Saade H, et al. Quantitative mobility measures complement the MDS-UPDRS for characterization of Parkinson's disease heterogeneity. *Parkinsonism Relat Disord* 2021; 84: 105-11.
  73. Mancini M, Horak FB. Potential of APDM mobility lab for the monitoring of the progression of Parkinson's disease. *Expert Rev Med Devices* 2016; 13: 455-62.
  74. Gjoreski M, Gjoreski H, Luštrek M, Gams M. How accurately can your wrist device recognize daily activities and detect falls? *Sensors* 2016; 16: 800.
  75. Shcherbina A, Mattsson C, Waggott D, Salisbury H, Christle J, Hastie T, et al. Accuracy in wrist-worn, sensor-based measurements of heart rate and energy expenditure in a diverse cohort. *J Pers Med* 2017; 7: 3.
  76. Kondama Reddy R, Pooni R, Zaharieva DP, Senf B, El Youssef J, Dassau E, et al. Accuracy of wrist-worn activity monitors during common daily physical activities and types of structured exercise: evaluation study. *JMIR Mhealth Uhealth* 2018; 6: e10338.
  77. Kim DW, Hassett LM, Nguy V, Allen NE. A comparison of activity monitor data from devices worn on the wrist and the waist in people with Parkinson's disease. *Mov Disord Clin Pract* 2019; 6: 693-9.
  78. Gall N, Sun R, Smuck M. A comparison of wrist- versus hip-worn actigraph sensors for assessing physical activity in adults: a systematic review. *J Meas Phys Behav* 2022; 5: 252-62.
  79. Kluge F, Brand YE, Micó-Amigo ME, Bertuetti S, D'Ascanio I, Gazit E, et al. Real-world gait detection using a wrist-worn inertial sensor: validation study. *JMIR Form Res* 2024; 8: e50035.



### Commercial devices for monitoring symptoms in Parkinson's disease: benefits, limitations and trends

**Abstract.** Parkinson's disease (PD) is a neurodegenerative disorder that significantly affects patients' quality of life. Treatment of PD requires accurate assessment of motor and non-motor symptoms, which is often complicated by subjectivity in reporting symptoms, and the limited availability of neurologists. Commercial wearable devices, which monitor PD symptoms continuously and outside the clinical setting, have appeared to address these challenges. These devices include PKG™, Kinesia 360™, Kinesia U™, PDMonitor™ and STAT-ON™. These devices use advanced technologies, including accelerometers, gyroscopes and specific algorithms to provide objective data on motor symptoms, such as tremor, dyskinesia and bradykinesia. Despite their potential, the adoption of these devices has been limited, due to concerns about their accuracy, complexity of use and the lack of independent validation. The correlation between the measurements obtained from these devices and traditional clinical observations varies, and their usability and patient adherence are critical areas for improvement. Validation and usability studies with a sufficient number of patients, standardised protocols and integration with hospitals' IT systems are essential to optimise their usefulness and improve patient outcomes.

**Key words.** Automatic learning. Monitoring. Motor symptoms. Objective evaluation. Parkinson's disease. Wearable systems.