



Revisión bibliográfica sobre métodos de rehabilitación de la marcha de personas con enfermedad de Parkinson para ser incluidas en el instrumento en desarrollo PARKIBIP

CICLO DE METODOLOGÍA CIENTÍFICA II 2021
Grupo 107

-Facultad de Medicina y Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería, -Universidad de la República

Montevideo - Uruguay

Octubre de 2021

Leites Anthony¹, Palacios Luiza¹, Pereira Ana¹, Ramirez Katerine¹, Valenzuela Jessi¹ y Simini Franco²

¹ Estudiante del Ciclo Metodología Científica II, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

² Orientador, Profesor del Núcleo de Ingeniería Biomédica, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
PALABRAS CLAVES:	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	6
MATERIALES Y MÉTODOS	7
TABLA 1 – Cadena de búsqueda	7
TABLA 2- Categorización de las publicaciones seleccionadas	8
RESULTADOS	9
TABLA 3 – Rutinas de rehabilitación en publicaciones de la revisión sistemática	13
DISCUSIÓN	14
CONCLUSIÓN	15
AGRADECIMIENTOS	15
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	16

RESUMEN

El trabajo consistió en una revisión sistemática sobre técnicas de rehabilitación de la marcha en pacientes con enfermedad de Parkinson con el fin de incluirlas en el instrumento PARKIBIP. Las publicaciones seleccionadas (2015 a 2021, en español, portugués o inglés), con acceso completo al texto, se encontraban en las plataformas de Portal Timbó, Scopus, ScienceDirect, Pubmed, IEEE y Medline.

Cumplidas las etapas de revisión sistemática, fueron estudiados 30 trabajos de los cuales 2 incluyen rutinas susceptibles de ser incluidas en el instrumento PARKIBIP. Uno de ellos detecta mediante sensores el alejamiento de la vertical centro de gravedad del paciente, del área de estabilidad con respecto al suelo, emite señales visuales y vibratorias; la otra rutina fue implementada en el instrumento Gamepad y consiste en generar retroalimentación mediante barras de colores que le indican al paciente un objetivo de ubicación espacial de su cuerpo.

Estos procedimientos clínicos son oportunidades de mejora de la calidad de vida de los pacientes a quienes se les podrá recomendar el uso de PARKIBIP en su vida diaria bajo supervisión remota de un fisioterapeuta o médico fisiatra.

ABSTRACT

The work is systematic review on gait rehabilitation techniques in patients with Parkinson's disease in order to include them in the PARKIBIP instrument. The selected publications (2015 to 2021, in Spanish, Portuguese or English), with full access to the text, were found on the Portal Timbó, Scopus, ScienceDirect, Pubmed, IEEE and Medline platforms.

Once the systematic review stages were completed, 30 papers were studied, of which 2 include routines that can be used in the PARKIBIP instrument. One of them detects the inclination distance from the vertical center of gravity of the patient to the area of stability in relation to ground, using sensors, and emits visual and vibratory signals. The other routine was implemented in the Gamepad instrument and consists of generating feedback through colored bars that indicate to the patient a target for the spatial location of their body.

These clinical procedures are opportunities to improve the quality of life of patients to whom the use of PARKIBIP in their daily life may be recommended under remote supervision of a physiotherapist or physiatrist

PALABRAS CLAVES:

Keywords: Sensors, wearables, Gait rehabilitation in Parkinson, Biofeedback system, Inertial Measurement Unit, Gait analysis, Step analysis, Step detection, Gait detection, Home gait rehabilitation.

Palavras chaves : Sensores, Reabilitação da marcha em Parkinson, Sistema de biofeedback, Unidade de medição inercial, Análise de marcha, Análise do passo, Detecção de passo, Detecção de marcha, Reabilitação domiciliária da marcha.

Palabras claves: Sensores, Rehabilitación de la marcha en Parkinson, Sistema de biorretroalimentación, Unidad de medida inercial, Análisis de la marcha, Análisis del paso, Detección de paso, Detección de marcha, Rehabilitación domiciliaria de la marcha.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad de Parkinson

La enfermedad de Parkinson es un trastorno neurodegenerativo multisistémico que afecta al sistema nervioso central provocando la aparición de síntomas motores y no motores (trastornos del movimiento y marcha, fragilidad cognitiva y emocional, alteraciones de la memoria, factores atencionales, entre otros). Es una enfermedad crónica, es decir que persiste durante un extenso período de tiempo, y progresiva, lo que significa que sus síntomas empeoran con el tiempo (1). Se caracteriza por deficiencias motoras, que incluyen temblor en las extremidades, aumento de su rigidez, alteraciones de los parámetros espacio-temporales y de fases de la marcha, por ejemplo: disminución de la longitud del paso y de la velocidad de la marcha, variabilidad de zancada a zancada, ralentización del movimiento, marcha arrastrada o un inicio de marcha retrasado) (2) (3) (4) (5)

PARKIBIP

PARKIBIP es un dispositivo creado de forma interdisciplinaria por estudiantes y docentes del NIB con el objetivo de mejorar la atención al paciente con enfermedad de Parkinson, prolongando el trabajo del fisioterapeuta en su vida cotidiana. PARKIBIP consta de dos sensores inerciales de tipo IMU (inertial measurement unit) que captan los movimientos de los miembros inferiores del individuo, identifican los eventos relacionados con su marcha y los registran en una aplicación Android. PARKIBIP genera, de acuerdo al protocolo seleccionado por el terapeuta, unas señales de retroalimentación que los datos llegan al teléfono móvil a través de bluetooth. De esta manera PARKIBIP puede estimular al paciente durante la marcha enriqueciendo el trabajo de la fisioterapia, actuando en base a rutinas que toman en cuenta los datos de la marcha, permitiendo que los pacientes con la enfermedad de Parkinson reciban una rehabilitación personalizada y de prologada duración ya que actúa en la vida diaria en el domicilio. (6)

Revisión sistemática

Para llevar a cabo la revisión sistemática, nuestro trabajo se enfocó en buscar la evidencia científica de publicaciones relacionadas al tema, búsqueda de métodos y rutinas de rehabilitación y productos similares a PARKIBIP. De la comparación de los resultados de la búsqueda con este instrumento, podemos establecer de las posibilidades de uso clínico con énfasis en las rutinas específicas de interacción con el paciente.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Realizar una revisión sistemática sobre métodos de rehabilitación de la marcha en pacientes con enfermedad de Parkinson y realizar su codificación para ser incluidos en el instrumento en desarrollo PARKIBIP.

Objetivos específicos

- Desarrollar habilidades en la búsqueda formal de publicaciones para realizar una revisión sistemática según la metodología “Cochrane”.
- Conocer a fondo el instrumento PARKIBIP en el estado actual de su desarrollo.
- Obtener los conocimientos necesarios para poder brindar aportes a la mejora continua de la herramienta PARKIBIP en la rehabilitación de estos pacientes y de su uso.
- Proponer alguna rutina concreta de rehabilitación en formato de diagrama de flujo para su eventual inclusión en PARKIBIP.

MATERIALES Y MÉTODOS

El marco metodológico de nuestra revisión sistemática se basó en una cadena de búsqueda (tabla 1) que incluía la combinación de palabras claves del problema de estudio. Para ello, se seleccionaron las plataformas digitales: Portal Timbó, Scopus, IEEE, ScienceDirect, Pubmed y Medline, como motores de búsqueda principales.

Los términos de búsqueda utilizados se construyeron siguiendo los siguientes pasos:

1. Definir los términos principales
2. Identificar ortografías alternativas, sinónimos o términos relacionados
3. Verificar las palabras claves en los documentos relevantes previamente identificados
4. Se usa el OR booleano para incorporar ortografías alternativas,
5. Se usa el booleano AND para obtener resultados que incluyan ambas condiciones.

TABLA 1 – Cadena de búsqueda

Cadena de búsqueda (inglés)	TITLE-ABS-KEY ((“gait rehabilitation”) OR (“Parkinson”)) (“Sensors” OR “wearables” OR “Biofeedback system” OR “Inertial Measurement Unit” OR “Gait analysis” OR “Step analysis” OR “Step detection” OR “Gait detection” OR “Home gait rehabilitation”) AND ((“Gait rehabilitation”) OR (“Parkinson”))
------------------------------------	--

Criterios de inclusión y exclusión

Se formularon criterios de selección de artículos a incluir en la revisión, con el fin de identificar aquellos estudios que proporcionen información relevante a las preguntas de investigación y eliminar estudios arbitrarios. Dichos criterios fueron expresados como dos conjuntos: inclusión y exclusión.

Inclusión:

- Artículos publicados en español, inglés o portugués
- Publicados a partir de 2015 hasta 2021
- Que haya acceso completo a todo el artículo
- Artículos disponibles en Portal Timbó, Scopus, ScienceDirect, Pubmed, IEEE, Medline.

Exclusión:

- Artículos no científicos: que no tengan su expresión en revistas arbitradas
- Relacionados con marcha que no sea en humanos

Selección y evaluación de calidad

Cada uno de los participantes realizó la búsqueda en una de las plataformas y recopiló estudios primarios que proporcionaban evidencia directa acerca de la pregunta de investigación. En primera instancia, los resultados primarios obtenidos fueron evaluados utilizando el título y el resumen del estudio para excluir aquellos que eran claramente irrelevantes.

Posteriormente, se reunieron las 30 publicaciones recopiladas en la plataforma Mendeley y se distribuyeron entre los 5 participantes para su lectura exhaustiva.

De la misma forma que se establecieron criterios de inclusión y exclusión para el proceso de selección, se evaluó la calidad de los artículos seleccionados, y se los categorizó como se muestra en la tabla 2.

TABLA 2- Categorización de las publicaciones seleccionadas

Publicaciones en la misma fase de estudio que PARKIBIP o instrumento similar	3 ^{(7) (8) (9)}
Evaluación de funcionalidad de sensores portátiles para la monitorización de la marcha	11 ^{(10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20)}
Monitorización de la marcha normal o sus fases	4 ^{(21) (22) (23) (24)}
Revisiones sistemáticas	7 ^{(25) (26) (27) (28) (29) (30) (31)}
Temas más alejados de lo relacionado a los objetivos de nuestro trabajo	3 ^{(32) (33) (34)}
Publicaciones útiles	2 ^{(35) (36)}

RESULTADOS

Luego de revisada la literatura seleccionada obtuvimos 2 publicaciones útiles para implementar en PARKIBIP. Una de ellas “Usability and Validation of the Smarter Balance System: An Unsupervised Dynamic Balance Exercises System for Individuals with Parkinson’s Disease”(35) consiste en ejercicios con el paciente en bipedestación donde se buscaban cambios de equilibrio en dirección anteroposterior (A/P) y lateral derecha/izquierda (D/I) basados en el 90% de sus límites de estabilidad medidos previamente, donde se mantenía la posición de inclinación por 5 segundos y se volvía a la posición inicial (ver Figura 1). Se repetía el procedimiento 24 veces (12 A/P y 12 D/I). Se monitorean los ángulos de inclinación (sin retirar los pies de la posición inicial) por medio de señales en la pantalla de un móvil (señal de inicio, fin de la prueba, señal del objetivo a alcanzar) y a través de señales vibratorias (la señal vibratoria va desapareciendo hasta alcanzar el objetivo) (Ver Figura 2).

Este estudio, según la literatura es uno de los primeros enfocados en la evaluación de la eficacia de rutinas en casa para la rehabilitación de pacientes con enfermedad de Parkinson utilizando dispositivos similares a PARKIBIP. Una evaluación de estas rutinas a largo plazo sería de gran utilidad para saber el beneficio real que tendrían en la vida de los pacientes. El límite de estabilidad de los usuarios (parámetro utilizado para estimar el rango de movimiento) tuvo una mejora significativa entre antes y después de las sesiones, mostrando mejoras desde una única sesión no supervisada utilizando el dispositivo.

Sí bien este estudio muestra la utilidad de esta rutina, la evaluación del impacto clínico que puede llegar a tener queda pendiente de evaluación para futuras investigaciones.

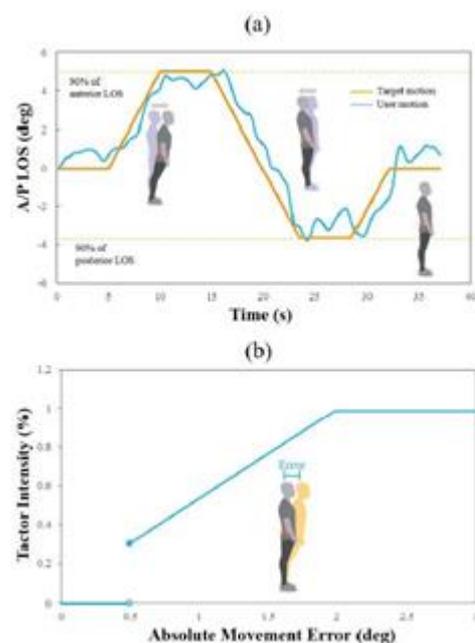


Fig. 1. (a) Dato representativo de un participante de la prueba de un ejercicio de equilibrio dinámico de cambio de peso en dirección A / P. Las líneas sólidas de color naranja y azul representan el movimiento del objetivo y el movimiento del participante, respectivamente. Las líneas naranjas discontinuas representan el 90% del límite de estabilidad del participante en las direcciones anterior y posterior. **(b)** Representa el mapeo del error de movimiento absoluto entre el movimiento objetivo y el movimiento del participante según la intensidad del tactor (sensor vibratorio) ³⁵

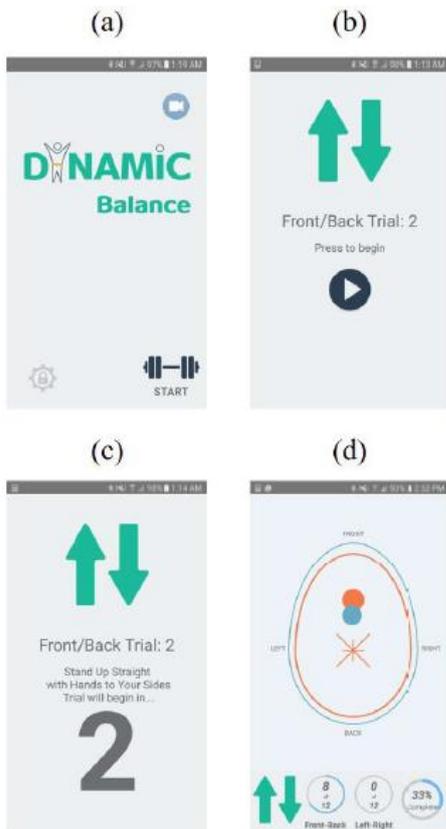


Fig. 2. Capturas de pantalla del SBS y sus funcionalidades: **(a)** La pantalla principal del SBS donde los usuarios tienen la opción de iniciar el ejercicio o ver un video con instrucciones sobre cómo utilizar el dispositivo; **(b)** El usuario comienza cada prueba presionando la flecha de inicio; **(c)** Cuenta atrás visual y auditiva con instrucciones antes del inicio de cada prueba; y **(d)** Pantalla de ejercicio que muestra el movimiento objetivo generado y el movimiento mapeado del usuario.³⁵

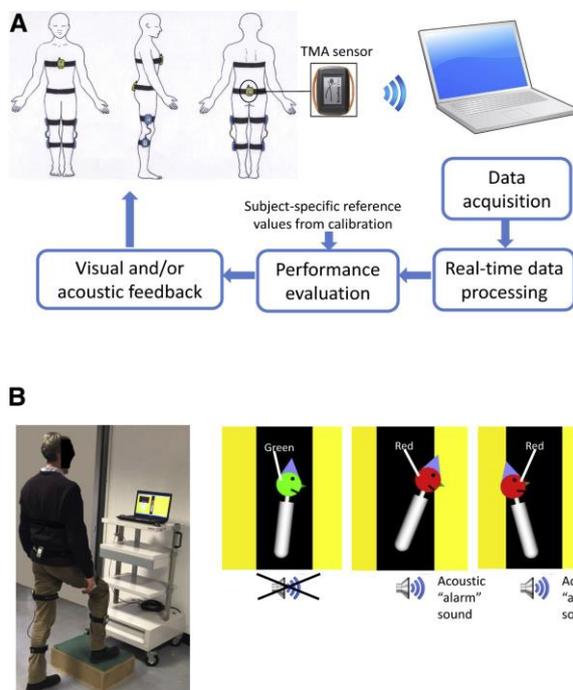


Fig. 3. (A) Representación esquemática del sistema Gamepad. **(B)** Ejemplo de un sujeto que controla la inclinación AP de su tronco mientras coloca un pie en un escalón (panel izquierdo). El paciente realiza la tarea mirando un avatar que reproduce el movimiento de su tronco en la pantalla de la PC (paneles de la derecha). Si el avatar no se mantiene dentro de la barra negra (área objetivo de referencia personalizada), su cabeza se vuelve roja y se emite un sonido de alarma.

Fig. 3. (A) Representación esquemática del sistema Gamepad. **(B)** Ejemplo de un sujeto que controla la inclinación AP de su tronco mientras coloca un pie en un escalón (panel izquierdo). El paciente realiza la tarea mirando un avatar que reproduce el movimiento de su tronco en la pantalla de la PC (paneles de la derecha). Si el avatar no se mantiene dentro de la barra negra (área objetivo de referencia personalizada), su cabeza se vuelve roja y se emite un sonido de alarma. Abreviaturas: TMA sensor: sensor inercial de Análisis de Movimiento Tecnobody.³⁶

En la otra publicación seleccionada “Wearable Sensor-Based Biofeedback Training for Balance and Gait in Parkinson Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial” (36) se utilizó un sistema de biofeedback (Gamepad) para rehabilitación de la marcha en enfermedad de Parkinson. El estudio evalúa distintas rutinas en diferentes situaciones (estático, cuasi dinámico, dinámico). (Ver Figura 3A)

En la rutina estática el paciente se encuentra en bipedestación vertical controlando la flexión de la rodilla y la inclinación del tronco, se pide al paciente que mantenga el equilibrio erguido tratando de mantener la rodilla extendida y de controlar la inclinación de la parte superior del tronco (Ver Figura 3B). Se proporciona una retroalimentación visual con barras de colores sobre el ángulo de flexión /extensión de la rodilla.

Si la extensión de la rodilla está por debajo de un umbral definido por el fisioterapeuta, la barra es roja, de lo contrario, si el paciente mantiene una extensión correcta, la barra se vuelve verde (Ver Figura 4); además se proporciona una retroalimentación auditiva sobre la inclinación del tronco. Si esta variable está dentro de una banda de referencia personalizada

definida por el terapeuta, no se emite ningún sonido; de lo contrario, el Gamepad produce sonidos de alarma.

En la cuasi-dinámica se coloca un pie en un escalón, se le pide al sujeto que transfiera el peso corporal hacia la pierna de apoyo, mantenga esta posición durante un tiempo definido por el terapeuta y luego coloque el pie opuesto en un escalón colocado frente a él, si el círculo se mantiene dentro del área objetivo, su color es verde; de lo contrario, se vuelve rojo y se emite un sonido de alarma (Ver figura 5).

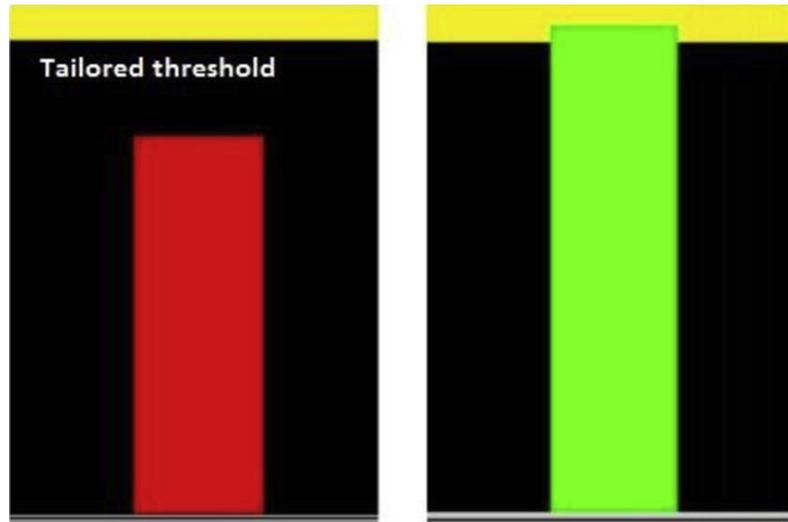


Fig.4. Ejemplo de retroalimentación visual proporcionada por Gamepad. La barra vertical representa el ángulo de flexión / extensión de la rodilla. La barra es roja en caso de flexión excesiva de la rodilla (panel izquierdo), mientras que se vuelve verde en caso de una extensión adecuada de la rodilla (panel derecho).³⁶

La dinámica consiste en caminar en línea recta controlando la transferencia de peso corporal entre las extremidades. Se pide al sujeto que camine mientras se controla el desplazamiento mediolateral

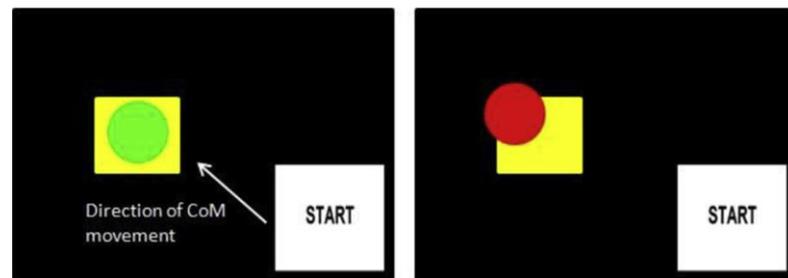


Fig.5. Ejemplo de retroalimentación visual proporcionada por Gamepad. El círculo representa el CoM (centro de masa) que debe moverse desde una posición inicial (rectángulo INICIO) a una posición objetivo final (rectángulo amarillo) hacia la pierna izquierda (de apoyo). El círculo es verde si el CoM se mantiene dentro del área objetivo; de lo contrario, se vuelve rojo.³⁶

del peso corporal, estimado con el desplazamiento angular mediolateral de la parte inferior del tronco. Si esta variable está por encima de un umbral personalizado, lo que indica la transferencia correcta del peso corporal hacia la extremidad de apoyo, Gamepad emite un sonido.

Luego los pacientes tienen una tarea 2; caminar sobre obstáculos controlando la inclinación medial lateral (o anteroposterior) del tronco superior. Se pide al sujeto que camine sobre palos de madera colocados en el suelo, manteniendo la inclinación ML (o AP) del tronco dentro de un banda de referencia definida por el terapeuta. Si la inclinación del tronco está fuera de la banda objetivo, Gamepad emite sonidos de alarma (retroalimentación negativa): sonido de tono alto en caso de inclinación excesiva hacia la derecha (o hacia adelante) y sonido de tono bajo en caso de inclinación excesiva hacia la izquierda (o hacia atrás).

El objetivo de estas tareas con sensores fue la comparación entre la rehabilitación con el

dispositivo versus los resultados de la fisioterapia sin biofeedback. El dispositivo fue bien aceptado por los pacientes y fisioterapeutas, y pareció ser más efectivo que la fisioterapia sin biofeedback respecto a la mejora del balance, pero se necesitarán futuros estudios con rutinas de rehabilitación de la marcha más sofisticadas. En la tabla 3 se reúne la información más relevante sobre estas 2 publicaciones.

TABLA 3 – Rutinas de rehabilitación en publicaciones de la revisión sistemática

1er Autor	Tipo de estímulo utilizado	Tipo de sensor y cantidad	Localización de sensor/es	Indicación de las rutinas	Objetivo	Parámetros de la marcha estimados	Métodos de rehabilitación que se pueden implementar en PARKIBIP
Fung A. (Fung et al., 2018)	Visual Vibratorio	IMU, 1	Centro de masa del paciente (cinturón en L5/S1)	24 repeticiones (12 A/P, 12 D/I)	Rehabilitación del equilibrio de enfermos de parkinson mediante un sistema multimodal de biorretroalimentación	Ángulos de inclinación del equilibrio	Estimulación del equilibrio, mediante repeticiones de inclinación A/P y D/I.
Ilaria Carpinella (Carpinella et al., 2017)	Visual Auditivo	IMU, 6	Parte superior del tronco, parte inferior del tronco y extremidades inferiores mediante cinturones elásticos.	20 sesiones de 45 minutos cada una, 3 veces por semana, en gimnasio de rehabilitación	Analizar la viabilidad y eficacia de un sistema novedoso para la Rehabilitación por biofeedback del equilibrio y la marcha en la enfermedad de Parkinson en comparación con la fisioterapia sin retroalimentación	Ángulo de flexión/ extensión de la rodilla; inclinación del tronco, movimiento del centro de masa, inclinación medio lateral o anteroposterior del tronco superior; cambio de peso y postura corporal en direcciones anteroposterior (AP) y mediolateral (ML)	Estático Bipedestación vertical controlando la flexión de la rodilla y la inclinación del tronco Cuasi-dinámico Coloque un pie en un escalón después de un desplazamiento correcto del peso corporal hacia la extremidad de apoyo Dinámica Caminar en línea recta controlando la transferencia de peso corporal entre las extremidades. Caminar sobre obstáculos controlando la inclinación ML (o AP) del tronco superior.

DISCUSIÓN

Las publicaciones seleccionadas en este trabajo son de las primeras en realizar rutinas de fisioterapia utilizando sensores similares a los que emplea PARKIBIP. Se pudieron apreciar mejoras en el rango de movimiento y el equilibrio en bipedestación y durante la marcha de los pacientes. Además se obtuvo una buena aceptación de los dispositivos por parte de profesionales de la salud y usuarios.

En la publicación “Usability and Validation of the Smarter Balance System: An Unsupervised Dynamic Balance Exercises System for Individuals With Parkinson’s Disease” (35) se realizaron ejercicios con el paciente en bipedestación donde se buscaban cambios de equilibrio en dirección anteroposterior (A/P) y lateral derecha/izquierda (D/I) basados en el 90% de sus límites de estabilidad medidos previamente. La ejecución de esta rutina tuvo una mejora significativa entre antes y después de las sesiones, mostrando cambios positivos desde una única sesión no supervisada utilizando el dispositivo, por ende se podría implementar en PARKIBIP.

En la publicación “Wearable Sensor-Based Biofeedback Training for Balance and Gait in Parkinson Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial” (36) se desarrolló un nuevo sistema para la rehabilitación motora de biofeedback en la EP (Gamepad) y se aplicó clínicamente en un ensayo piloto controlado aleatorio con el objetivo de comparar la rehabilitación con el dispositivo versus los resultados de la fisioterapia sin biofeedback. Gamepad pareció ser más efectivo que la fisioterapia sin biofeedback respecto a la mejora del equilibrio, ya que fue el único parámetro que demostró resultados significativos. Este hallazgo es particularmente notable porque midió la amplitud de oscilación medio lateral (aumentada significativamente en la enfermedad de Parkinson, parámetro predictor de caídas). Este estudio no mostró resultados estadísticamente significativos con las demás variables (velocidad, cadencia, longitud de zancada) aunque la combinación de estos parámetros en forma elaborada tiene el potencial para constituir rutinas de estimulación eficaces en el ámbito de la rehabilitación domiciliar por un instrumento como PARKIBIP.

Los resultados analizados previamente provienen de las dos publicaciones relacionadas al tema, que arrojó la búsqueda de artículos para la revisión sistemática, ya que las demás publicaciones obtenidas en la búsqueda no contenían rutinas de rehabilitación que aportaran a la investigación.

Dada esta situación, además de proponer la implementación de las rutinas analizadas en este trabajo, se pone de manifiesto la necesidad de nuevos estudios explorando los beneficios de rutinas con sensores para estos pacientes.

CONCLUSIÓN

Esta revisión sistemática obtuvo como resultados dos artículos de utilidad, de un total de 30 trabajos analizados. Los 30 trabajos describen distintas situaciones cualitativas acerca de la rehabilitación para pacientes de parkinson. Dos de ellos tratan de rehabilitación de la marcha utilizando sensores en pacientes con Enfermedad de Párkinson.

Fung A. en su trabajo incorporó una rutina con sensores y retroalimentación, que logró una mejora del equilibrio en los pacientes, lo que constituye un resultado que podríamos implementar estrictamente o modificado a PARKIBIP.

En la publicación de Carpinella I se vieron modificaciones positivas en el equilibrio utilizando el juego Gamepad en ámbito clínico, por lo que se podría implementar en PARKIBIP para explorarlo en el domiciliario.

Comprobamos que no existe suficiente literatura disponible sobre rutinas cuantitativas de rehabilitación de la marcha en pacientes con Parkinson, por lo cual, además de continuar investigando sobre las rutinas propuestas en los trabajos analizados, se destaca la necesidad de desarrollar futuras investigaciones sobre la rehabilitación mediante instrumentos como PARKIBIP, potencialmente utilizables por los pacientes en su domicilio prolongando el acompañamiento de un fisioterapeuta.

AGRADECIMIENTOS

Se realiza un agradecimiento principalmente al Ing. Franco Simini, por su apoyo en la construcción de la presente revisión. Así mismo, se declara no haber requerido de financiamiento para la realización de este documento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Alexander GE. Biology of Parkinson's disease: Pathogenesis and pathophysiology of a multisystem neurodegenerative disorder [Internet]. Vol. 6, Dialogues in Clinical Neuroscience. Dialogues Clin Neurosci; 2004 [cited 2021 May 14]. p. 259–80. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22033559/>
2. Rogers MW. Disorders of Posture, Balance, and Gait in Parkinson's Disease. Clin Geriatr Med. 1996 Nov 1;12(4):825–45.
3. J S, J C, D M, B M, G G. Gait feature extraction in Parkinson's disease using low-cost accelerometers. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc IEEE Eng Med Biol Soc Annu Int Conf [Internet]. 2011 [cited 2021 Sep 27];2011:7900–3. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22256172/>
4. JM H, ME C, R F, JY W, AL G. Gait variability and basal ganglia disorders: stride-to-stride variations of gait cycle timing in Parkinson's disease and Huntington's disease. Mov Disord [Internet]. 1998 May [cited 2021 Sep 27];13(3):428–37. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9613733/>
5. S, Lord, K B, A N, D B, L R. Gait variability in Parkinson's disease: an indicator of non-dopaminergic contributors to gait dysfunction? J Neurol [Internet]. 2011 Apr [cited 2021 Sep 27];258(4):566–72. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21052710/>
6. Huerta Santana CE, Sainz Sánchez S. PARKIBIP retroalimentación activa en la marcha de personas con enfermedad de Parkinson. 2020 [cited 2021 Sep 27]; Available from: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/28776>
7. Juutinen M, Wang C, Zhu J, Haladjian J, Ruokolainen J, Puustinen J, et al. Parkinson's disease detection from 20-step walking tests using inertial sensors of a smartphone: Machine learning approach based on an observational case-control study. PLoS One [Internet]. 2020;15(7 July):e0236258. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0236258>
8. Eizentals P, Katashev A, Oks A. Gait analysis by using Smart Socks system Recent citations Smart socks: new effective method of gait monitoring for systems with limited number of plantar sensors Alexander Oks et al Gait analysis by using Smart Socks system.
9. Qiu S, Liu L, Wang Z, Li S, Zhao H, Wang J, et al. SPECIAL SECTION ON WIRELESS BODY AREA NETWORKS Body Sensor Network-Based Gait Quality Assessment for Clinical Decision-Support via Multi-Sensor Fusion. Available from: http://www.ieee.org/publications_standards/publications/rights/index.html
10. Nguyen H, Lebel K, Bogard S, Goubault E, Boissy P, Duval C. Using Inertial Sensors to Automatically Detect and Segment Activities of Daily Living in People with Parkinson's Disease. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2018 Jan 1;26(1):197–204.
11. Muthukrishnan N, Abbas JJ, Krishnamurthi N, Edu JA. A Wearable Sensor System to Measure Step-Based Gait Parameters for Parkinson's Disease Rehabilitation. 2020; Available from: www.mdpi.com/journal/sensors
12. Milosevic B, Leardini A, Farella E. Kinect and wearable inertial sensors for motor rehabilitation programs at home: state of the art and an experimental comparison. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12938-020-00762-7>
13. Marín J, Blanco T, de la Torre J, Marín JJ, Esquillor M. Gait Analysis in a Box: A System Based on Magnetometer-Free IMUs or Clusters of Optical Markers with Automatic Event Detection. Available from: www.mdpi.com/journal/sensors
14. Byl N, Zhang W, Coo S, Tomizuka M, Zhang W, Tomizuka M. Clinical Impact of Gait Training Enhanced with Visual Kinematic Biofeedback: Patients with

- Parkinson's Disease and Patients Stable Post Stroke [Internet]. 2015. Available from: <http://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>
15. Niswander W, Wang W, Kontson K. Optimization of IMU Sensor Placement for the Measurement of Lower Limb Joint Kinematics. Available from: <https://tutorial.xsens.com/>
 16. Raykov YP, Evers L, Badawy R, Bloem BR, Heskes T, Meinders M, et al. Probabilistic modelling of gait for robust passive monitoring in daily life. *IEEE J Biomed Heal Informatics*. 2020;
 17. Zhang H, Li C, Liu W, Wang J, Zhou J, Wang S. A multi-sensor wearable system for the quantitative assessment of Parkinson's disease. *Sensors (Switzerland)* [Internet]. 2020 Nov 1 [cited 2021 Jun 28];20(21):1–14. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33137953/>
 18. San-Segundo R, Zhang A, Cebulla A, Panev S, Tabor G, Stebbins K, et al. Parkinson's disease tremor detection in the wild using wearable accelerometers. *Sensors (Switzerland)* [Internet]. 2020 Oct 2 [cited 2021 Jun 28];20(20):1–23. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33066691/>
 19. Da Silva DCL, Lemos T, De Sá Ferreira A, Horsczaruk CHR, Pedron CA, De Carvalho Rodrigues E, et al. Effects of Acute Transcranial Direct Current Stimulation on Gait Kinematics of Individuals with Parkinson Disease. *Top Geriatr Rehabil*. 2018;34(4):262–8.
 20. Leite P, Postolache O, Dias Pereira JM, Postolache G. Gait rehabilitation monitor. *J Phys Conf Ser*. 2019;1379.
 21. Peng X, Feng Y, Ji S, Amos JT, Wang W, Li M, et al. Gait Analysis by Causal Decomposition. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* [Internet]. 2021;29:953–64. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9439488/>
 22. Liu L, Wang H, Li H, Liu J, Qiu S, Zhao H, et al. Ambulatory Human Gait Phase Detection Using Wearable Inertial Sensors and Hidden Markov Model. 2021; Available from: <https://doi.org/10.3390/s21041347>
 23. Ferrari A, Ginis P, Hardegger M, Casamassima F, Rocchi L, Chiari L. A mobile Kalman-filter based solution for the real-time estimation of spatio-temporal gait parameters. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2016 Jul 1;24(7):764–73.
 24. Wei W, McElroy C, Dey S. Using Sensors and Deep Learning to Enable On-Demand Balance Evaluation for Effective Physical Therapy. *IEEE Access*. 2020;8:99889–99.
 25. Zampogna A, Manoni A, Asci F, Liguori C, Irrera F, Suppa A. Shedding Light on Nocturnal Movements in Parkinson's Disease: Evidence from Wearable Technologies. *Sensors (Basel)*. 2020 Sep;20(18).
 26. Lu R, Xu Y, Li X, Fan Y, Zeng W, Tan Y, et al. Walking-related digital mobility outcomes as clinical trial endpoint measures: protocol for a scoping review. *Sensors (Basel)*. 2020 May;21(7):4693019.
 27. Lu R, Xu Y, Li X, Fan Y, Zeng W, Tan Y, et al. Evaluation of Wearable Sensor Devices in Parkinson's Disease: A Review of Current Status and Future Prospects. *Parkinsons Dis*. 2020;2020:4693019.
 28. Radder DLM, Sturkenboom IH, van Nimwegen M, Keus SH, Bloem BR, de Vries NM. Physical therapy and occupational therapy in Parkinson's disease [Internet]. Vol. 127, *International Journal of Neuroscience*. Taylor and Francis Ltd; 2017 [cited 2021 Jun 12]. p. 930–43. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28007002/>
 29. Albán-Cadena AC, Villalba-Meneses F, Pila-Varela KO, Moreno-Calvo A, Villalba-Meneses CP, Almeida-Galárraga DA. Wearable sensors in the diagnosis and study of Parkinson's disease symptoms: a systematic review [Internet]. *Journal of Medical Engineering and Technology*. Taylor and Francis Ltd.; 2021 [cited 2021 Jun 28]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34060967/>
 30. Bowman T, Gervasoni E, Arienti C, Lazzerini SG, Negrini S, Crea S, et al. Wearable Devices for Biofeedback Rehabilitation: A Systematic Review and

- Meta-Analysis to Design Application Rules and Estimate the Effectiveness on Balance and Gait Outcomes in Neurological Diseases. *Sensors*. 2021 May;21(10).
31. Silva de Lima AL, Evers LJW, Hahn T, Bataille L, Hamilton JL, Little MA, et al. Freezing of gait and fall detection in Parkinson's disease using wearable sensors: a systematic review [Internet]. Vol. 264, *Journal of Neurology*. Dr. Dietrich Steinkopff Verlag GmbH and Co. KG; 2017 [cited 2021 Jun 28]. p. 1642–54. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28251357/>
 32. Zollo L, Fioretti S, Xu Y, Ye J, Wu H, Wu L, et al. An Adaptive Method for Gait Event Detection of Gait Rehabilitation Robots. *Front Neurobotics* | www.frontiersin.org [Internet]. 2020;1:38. Available from: www.frontiersin.org
 33. Zampogna A, Manoni A, Asci F, Liguori C, Irrera F, Suppa A, et al. Evaluation of Wearable Sensor Devices in Parkinson's Disease: A Review of Current Status and Future Prospects. *Sensors (Basel)*. 2020 May;21(7):4693019.
 34. Schicketmueller A, Rose G, Hofmann M. Feasibility of a Sensor-Based Gait Event Detection Algorithm for Triggering Functional Electrical Stimulation during Robot-Assisted Gait Training. Available from: www.mdpi.com/journal/sensors
 35. Fung A, Lai EC, Lee BC. Usability and Validation of the Smarter Balance System: An Unsupervised Dynamic Balance Exercises System for Individuals with Parkinson's Disease. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2018 Apr 1;26(4):798–806.
 36. Carpinella I, Cattaneo D, Bonora G, Bowman T, Martina L, Montesano A, et al. Wearable Sensor-Based Biofeedback Training for Balance and Gait in Parkinson Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2017 Apr 1;98(4):622-630.e3.