

Optimización de la función motora: técnicas avanzadas de neurorrehabilitación física en neuropatías periféricas

Optimization of motor function: advanced physical neurorehabilitation techniques in peripheral neuropathies

Paulina Francisca Madrid Peralta ^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-8710-4432>

¹ Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), Milagro, Guayas, Ecuador

*Autor para la correspondencia: paulina.madrid31@gmail.com

RESUMEN

Introducción: La neurorrehabilitación integra principios de neuroplasticidad y neuromodulación para optimizar la recuperación funcional en pacientes con neuropatías periféricas. Este enfoque busca mejorar la integración del individuo en su entorno físico, mental y social.

Objetivos: El presente trabajo evalúa cómo diversas técnicas de neurorrehabilitación mejoran la funcionalidad y calidad de vida en pacientes con neuropatías periféricas, centrándose en la personalización del tratamiento según las necesidades específicas de cada paciente.

Adquisición de información: Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica actual en bases de datos reconocidas como PubMed, Scopus, y Web of

Science, poniendo especial atención en las investigaciones publicadas entre 2019 y 2024 para garantizar la relevancia de los datos.

Desarrollo: El análisis consideró diferentes técnicas, tales como ejercicios terapéuticos, movilizaciones neurales, electroestimulación y rehabilitación asistida por robótica. Los resultados destacan mejoras notables en la función motora y calidad de vida, mostrando la eficacia de un tratamiento multidisciplinario. Se subraya la importancia de las tecnologías avanzadas en el tratamiento de condiciones específicas como la neuropatía diabética y la inducida por quimioterapia.

Conclusiones: Las técnicas de neurorrehabilitación son cruciales para la recuperación neurológica y funcional. La integración efectiva de tratamientos convencionales y avanzados es esencial para maximizar los beneficios de la rehabilitación, ajustándose a las particularidades de cada paciente.

Palabras clave: neurorrehabilitación; neuropatías periféricas; ejercicio terapéutico; movilización neural; electroestimulación; tecnologías robóticas

ABSTRACT

Introduction: Neurorehabilitation integrates principles of neuroplasticity and neuromodulation to optimize functional recovery in patients with peripheral neuropathies. This approach aims to improve the individual's integration into their physical, mental, and social environment.

Objective: This study assesses how various neurorehabilitation techniques enhance functionality and quality of life in patients with peripheral neuropathies, focusing on customizing treatment according to each patient's specific needs.

Information acquisition: A systematic review of current scientific literature was

conducted using recognized databases such as PubMed, Scopus, and Web of Science, focusing on research published between 2019 and 2024 to ensure data relevance.

Development: The analysis included different techniques such as therapeutic exercises, neural mobilizations, electrostimulation, and robotic-assisted rehabilitation. Results highlight significant improvements in motor function and quality of life, demonstrating the efficacy of a multidisciplinary treatment approach. The importance of advanced technologies in treating specific conditions such as diabetic neuropathy and chemotherapy-induced neuropathy is emphasized.

Conclusions: Neurorehabilitation techniques are crucial for neurological and functional recovery. Effective integration of conventional and advanced treatments is essential to maximize rehabilitation benefits, tailored to the particularities of each patient.

Keywords: neurorehabilitation; peripheral neuropathies; therapeutic exercise; neural mobilization; electrostimulation; robotic technologies.

Recibido: 21/09/2024

Aprobado: 04/11/2024

Introducción

La neurorrehabilitación es un enfoque terapéutico integral diseñado para la recuperación funcional de pacientes con trastornos neurológicos. Se define como un proceso activo que busca alcanzar una recuperación óptima en los ámbitos

físico, mental y social, permitiendo al individuo integrarse de manera efectiva en su entorno. Este proceso se fundamenta en los principios de neuroplasticidad y neuromodulación para fomentar la restauración y adaptación del sistema nervioso tras una lesión, optimizando las funciones intrínsecas del mismo a través de neuromoduladores específicos de cada grupo celular. ⁽¹⁾

Es importante que la neurorrehabilitación sea holística pero individualizada, inclusiva y participativa, que se lleve a cabo de una manera oportuna y continua según las necesidades del paciente, y esté orientada hacia su integración comunitaria. La neurorrehabilitación busca no solo mejorar la funcionalidad sino también la calidad de vida del paciente, mediante la aplicación de diversas técnicas y métodos terapéuticos, incluyendo la terapia física, ocupacional, del habla y lenguaje, así como intervenciones cognitivas y psicológicas. ⁽¹⁾

Este campo, en constante evolución, se centra en la mejora de la funcionalidad y la reducción de la discapacidad mediante un enfoque multidisciplinario que involucra a profesionales de diversas especialidades. La personalización del tratamiento es fundamental, tomando en cuenta las necesidades específicas de cada paciente y las características de su condición neurológica. ^(2,3)

Se conoce que la neurorrehabilitación ha demostrado tener beneficios significativos en el tratamiento de neuropatías periféricas, evidenciando una contribución positiva en la regeneración nerviosa y la recuperación funcional de pacientes afectados por estas condiciones. ⁽⁴⁾ Los estudios a este respecto sugieren que la neurorrehabilitación puede mejorar aspectos clave de la función nerviosa, como la conducción en nervios sensoriales y motores, lo que implica un impacto positivo en la calidad de vida de los pacientes.

Los mecanismos de acción de la neurorrehabilitación, aunque no completamente entendidos aún, incluyen efectos antiinflamatorios y de regeneración neuronal. Estos mecanismos son sumamente importantes para la recuperación en patologías de neuropatías por atrapamiento, donde la mejora de la función nerviosa es un objetivo primordial.

El presente trabajo enfatiza la importancia de un enfoque integral en la neurorrehabilitación que aborde los desafíos específicos de cada paciente, especialmente en poblaciones vulnerables como los pacientes geriátricos. Dicho enfoque integral asegura que se consideren todas las facetas del tratamiento para maximizar la recuperación y funcionalidad. ⁽²⁾

Este estudio tuvo como objetivo explorar los beneficios de la neurorrehabilitación en el tratamiento de neuropatías periféricas, con especial atención en cómo diferentes técnicas pueden mejorar la funcionalidad y calidad de vida de los pacientes. Asimismo, busca identificar y describir los enfoques integrales más efectivos, enfocándose en la personalización del tratamiento para diversas condiciones neurológicas y poblaciones de pacientes, incluyendo aquellos en etapas geriátricas.

Métodos

Este estudio se basa en una revisión sistemática de la literatura para evaluar la eficacia de diversas técnicas de neurorrehabilitación en el tratamiento de neuropatías periféricas. Para ello, se realizó una búsqueda exhaustiva de artículos en bases de datos como PubMed, Scopus, y Web of Science, utilizando palabras clave como «neurorrehabilitación», «neuropatías periféricas», «ejercicio terapéutico», «movilizaciones neurales», «electroestimulación» y «tecnologías de

rehabilitación robótica». Se incluyeron estudios publicados entre 2019 y 2024 para asegurar la relevancia y actualidad de los datos.

Se seleccionaron 54 artículos que cumplieran con los criterios de inclusión, los cuales requerían que los estudios abordaran directamente la eficacia de intervenciones específicas de neurorrehabilitación en pacientes con neuropatías periféricas. Los artículos fueron evaluados por dos revisores independientes para validar la calidad metodológica y la relevancia clínica, utilizando herramientas de evaluación estándar como la escala PEDro (Physiotherapy Evidence Database scale) y los criterios de la declaración PRISMA.

Los datos extraídos incluyeron el tipo de intervención, características de la población estudiada, resultados principales, y conclusiones de los autores. La síntesis de la información se realizó mediante un enfoque narrativo, destacando tanto los resultados como las limitaciones observadas en los estudios. Además, se discutieron las implicaciones clínicas de los hallazgos y se identificaron áreas para investigación futura, especialmente en lo que respecta a la personalización del tratamiento y la integración de nuevas tecnologías en la práctica clínica.

Resultados

Ejercicio terapéutico

El ejercicio terapéutico, especialmente el aeróbico, es una componente esencial de los programas de neurorrehabilitación y se destaca como una intervención prometedora para el tratamiento de neuropatías periféricas, según Matesanz García.

⁽⁵⁾ Diferentes revisiones sistemáticas han subrayado su eficacia en la mejora de biomarcadores relacionados con el dolor neuropático y alteraciones somatosensoriales, aunque la dosis óptima y el tipo más efectivo aún necesitan definición precisa.

Estudios recientes han demostrado que estas actividades físicas son efectivas para mejorar la función motora en individuos afectados por neuropatía periférica inducida por quimioterapia y otras causas. ^(6,7) En el caso de la neuropatía diabética, los ejercicios mejoran la funcionalidad y los reflejos de manos y dedos, además de incrementar la fuerza, potencia y masa muscular. ^(8,9) Los programas que combinan el entrenamiento aeróbico con la resistencia son particularmente efectivos, restaurando el daño nervioso sensorial y mejorando tanto los síntomas como la función muscular.

Asimismo, se ha observado que el ejercicio mejora significativamente la función de marcha en pacientes con neuropatía diabética. ⁽¹⁰⁾ Diversas revisiones sistemáticas confirman la efectividad de estas prácticas para mejorar los síntomas de neuropatía periférica a corto y largo plazo. ^(11,12)

La evidencia acumulada subraya la relevancia de incorporar el ejercicio terapéutico en los tratamientos para neuropatías periféricas, lo que puede ofrecer mejoras significativas en la calidad de vida de los pacientes. Continuar investigando es esencial para afinar los protocolos de ejercicio y aprovechar al máximo los beneficios terapéuticos de esta intervención dentro del contexto más amplio de la neurorrehabilitación.

Movilizaciones neuronales

Las movilizaciones neuronales han demostrado ser eficaces en pacientes con dolor referido de origen neural en extremidades, mejorando condiciones como el síndrome del túnel carpiano y la hiperalgesia mecánica. ⁽⁵⁾ Se sugiere que estas técnicas pueden influir beneficiosamente sobre la neuroinflamación y las neurotrofinas, proponiendo un mecanismo de acción que modula diversos aspectos fisiológicos clave.

Adicionalmente, las movilizaciones neurales se han mostrado efectivas para mejorar la función motora en pacientes con neuropatías periféricas. Distintos estudios

destacan mejoras significativas en la fuerza muscular y la amplitud de movimiento, sugiriendo que estas técnicas son cruciales para la rehabilitación motora en este grupo de pacientes. ⁽¹³⁾

En el contexto de la funcionalidad manual, un estudio específico en pacientes con neuropatía periférica diabética reveló que un programa de ejercicios de resistencia para mano y dedos incrementó significativamente la presión de la mano tras la intervención, ofreciendo mejoras notables en la funcionalidad de manos y dedos. ⁽⁸⁾

Desde una perspectiva neurofisiológica, la investigación en modelos animales de neuropatía diabética dolorosa ha indicado que la movilización neural puede reducir la hiperalgesia mecánica, con efectos que persisten hasta 48 horas después de una sesión. ⁽¹⁴⁾ Además, puede mitigar la degeneración de nervios periféricos, evidenciado por un aumento en la densidad de fibras nerviosas intraepidérmicas en los individuos tratados con movilización neural. Estos hallazgos apuntan a efectos beneficiosos tanto a nivel sintomático como estructural, contribuyendo a las mejoras observadas en la función motora.

Las implicaciones clínicas de estos estudios son profundas, proporcionando una base neurofisiológica sólida para el uso de movilizaciones neurales en el tratamiento de neuropatías periféricas y sugiriendo la inclusión de estas técnicas en los programas de fisioterapia en entornos clínicos. ⁽¹⁴⁾ No obstante, se reconoce la necesidad de más investigaciones para desarrollar protocolos estandarizados de tratamiento y confirmar estos hallazgos en una variedad de tipos de neuropatías periféricas.

Electroestimulación

La electroestimulación, como parte integral de programas de neurorrehabilitación, ha emergido como una técnica prometedora para mejorar la función motora en pacientes con neuropatías periféricas y secuelas de accidente cerebrovascular. La

estimulación eléctrica funcional (FES, por sus siglas en inglés), al fomentar la neuroplasticidad, ha demostrado aumentar la función motora en pacientes posictus, evidenciando su eficacia en estudios recientes. ^(15,16)

Dentro de los enfoques de neurorrehabilitación, la estimulación del ganglio de la raíz dorsal ha mostrado ser efectiva en el tratamiento del dolor neuropático, proporcionando una herramienta valiosa para el manejo del dolor en estos pacientes.

⁽¹⁷⁾ Paralelamente, la neuroestimulación eléctrica periférica no invasiva ha demostrado beneficios en el tratamiento del temblor esencial, ampliando las aplicaciones de la neurorrehabilitación en trastornos del movimiento. ⁽¹⁸⁾

En casos de lesiones medulares, la estimulación eléctrica epidural representa una técnica avanzada de neurorrehabilitación, mostrando resultados prometedores en la recuperación de funciones motoras y subrayando el potencial transformador de estas intervenciones. ⁽¹⁹⁾

Por último, en el contexto de la neuropatía diabética, los programas que integran ejercicios con electroestimulación, al mejorar significativamente la funcionalidad y los reflejos en manos y dedos, ilustran cómo las estrategias combinadas de neurorrehabilitación pueden mejorar la calidad de vida de los pacientes. ⁽⁸⁾

En el tratamiento de la neuropatía diabética, las intervenciones de fisioterapia como la estimulación eléctrica nerviosa transcutánea (TENS, por sus siglas en inglés), así como ejercicios específicos y la terapia láser de baja intensidad han demostrado ser eficaces en mejorar el alivio del dolor, la función sensoriomotora y la calidad de vida general de los pacientes. ^(8,20)

La TENS, en particular, ha mostrado mejoras significativas en la función motora de pacientes con neuropatías periféricas. En el contexto de la esclerosis múltiple, diferentes investigaciones han reportado avances notables en la marcha, equilibrio y destreza manual tras su aplicación. ^(21,22) Algunos experimentos en modelos animales indican que la TENS acelera la recuperación funcional y motora, evidenciado por el aumento en la cantidad y diámetro de los axones. ⁽²³⁾

Una revisión sistemática ha revelado que la TENS produce efectos positivos sobre la función motora y la neuroplasticidad en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular. ⁽²⁴⁾ Además, en la enfermedad de Parkinson, se ha observado que la TENS reduce la rigidez y el temblor, mostrando su versatilidad y potencial en diversas condiciones neurológicas. ⁽²⁵⁾

Aunque tradicionalmente se ha utilizado para el manejo del dolor, la TENS también ha demostrado ser eficaz en mejorar la sensibilidad y en disminuir alteraciones sensitivas como calambres y entumecimiento en pacientes oncológicos, ampliando aún más su aplicación terapéutica. ^(26,27)

Tecnologías novedosas

Los dispositivos electrónicos computarizados y robotizados están abriendo oportunidades prometedoras para la neurorrehabilitación en pacientes con neuropatías periféricas. Estos sistemas avanzados, que incluyen exoesqueletos e interfaces hápticas, facilitan terapias personalizadas e interactivas que permiten una alta repetición de movimientos, esenciales para la recuperación funcional. ^(28,29)

Dispositivos como el Erigo® han sido reconocidos por su seguridad y efectividad, mostrando una notable reducción de la espasticidad en pacientes con accidente cerebrovascular. ⁽³⁰⁾

Además, la rehabilitación robótica y el uso de la realidad virtual ofrecen beneficios económicos potenciales, aunque los resultados de su efectividad aún generan debate en la comunidad científica. ⁽³¹⁾ En el contexto de la tele rehabilitación neurológica, el compromiso del paciente es un factor crítico; el éxito de estas intervenciones depende en gran medida del autocontrol, la motivación y la adherencia al tratamiento. ⁽³²⁾

Si bien estos dispositivos no sustituyen la intervención directa de los terapeutas, sí amplían significativamente las opciones de tratamiento y pueden aliviar la carga física sobre los profesionales de la salud, optimizando así los recursos terapéuticos

disponibles. ^(33,34)

Las ortesis robóticas emergen como una herramienta de gran valor en la neurorrehabilitación de pacientes con neuropatías periféricas. Estos dispositivos avanzados facilitan la práctica y el reaprendizaje de movimientos en extremidades superiores e inferiores, además de contribuir al desarrollo de la propiocepción. ⁽³⁵⁾ Se ha confirmado que la rehabilitación robótica es segura y efectiva para reducir la espasticidad en pacientes posaccidente cerebrovascular. ⁽³⁰⁾

Entre los sistemas innovadores se encuentra RobHand, que utiliza exoesqueletos de mano con control háptico basado en electromiografía para facilitar terapias activas asistidas. ⁽³⁶⁾ Además, existen dispositivos de pedaleo que se operan mediante interfaces cerebro-computadora, ⁽³⁷⁾ y exoesqueletos ambulatorios diseñados para imponer patrones articulares normativos durante la marcha. ⁽³⁸⁾

A pesar de los efectos positivos observados, es esencial continuar con la investigación para desarrollar pautas clínicas más robustas y comprender a fondo los mecanismos que subyacen a las mejoras reportadas en estos pacientes. ⁽³³⁾

Discusión

La literatura reciente resalta la efectividad de un espectro amplio de intervenciones de neurorrehabilitación para pacientes con neuropatías, destacando la importancia de enfoques multidisciplinarios que integran tratamientos farmacológicos y no farmacológicos para el manejo del dolor neuropático. Específicamente, medicamentos como la gabapentina y la pregabalina han sido efectivos en la mitigación del dolor, como indican Gonzaga Melo Filho y colaboradores. ⁽³⁹⁾ Complementariamente, modalidades electro físicas como la terapia láser de bajo nivel y el ultrasonido han mostrado mejoras en la severidad de los síntomas y el estado funcional, según Bula-Oyola y otros. ⁽⁴⁰⁾

Además, las tecnologías avanzadas, como la robótica y la realidad virtual, han probado ser beneficiosas en la mejora de la función motora y habilidades manuales,

particularmente en pacientes con parálisis cerebral, resaltando su potencial transformador en terapias neurológicas. ⁽⁴¹⁾ Sin embargo, como señalan Bula-Oyola y colaboradores ⁽⁴⁰⁾ y Oaklander & Gimigliano, ⁽⁴²⁾ la calidad general de la evidencia para muchas de estas intervenciones sigue siendo baja, marcando la urgencia de más estudios de alta calidad que refuercen la base de evidencia sobre su efectividad. En términos de personalización, Noé y colaboradores ⁽⁴³⁾ sugieren que la neurorrehabilitación a largo plazo debe adaptarse específicamente a las necesidades individuales de cada paciente, mediante evaluaciones continuas y seguimientos regulares para mantener los beneficios y abordar complicaciones potenciales. Esta personalización no solo asegura la efectividad de las intervenciones, sino que también permite la adaptación de los tratamientos a las condiciones cambiantes de los pacientes.

Por otro lado, investigaciones recientes han explorado la rentabilidad y usabilidad de tecnologías avanzadas en la neurorrehabilitación, donde dispositivos robóticos y sistemas de realidad virtual se destacan por su potencial en mejorar la función motora y la participación de los pacientes. ^(44,45) Aunque estudios como los de Canode-la-Cuerda y otros ⁽⁴⁶⁾ y Agbemanyole y colaboradores ⁽⁴⁷⁾ sugieren que estas tecnologías pueden ser rentables y a la vez efectivas, y pueden reducir los gastos en atención médica. Por su parte, Noé y otros ⁽⁴³⁾ enfatizan la necesidad de más investigación para establecer su viabilidad económica de manera definitiva.

Finalmente, las interfaces cerebro-computadora y los dispositivos de pedaleo, como señalan Lobaina Delgado y colaboradores, ⁽³⁷⁾ son enfoques innovadores que fomentan una participación en la terapia. No obstante, aún quedan desafíos como los altos costos, los problemas técnicos y la necesidad de personalización según las necesidades del paciente, subrayados por Zanatta y otros. ⁽⁴⁸⁾ Concluyendo, aunque las tecnologías avanzadas de neurorrehabilitación son prometedoras, se necesita más investigación, como sugiere Meneses Castaño et al., ⁽⁴¹⁾ para establecer completamente su rentabilidad y optimizar su implementación en la práctica clínica.

La investigación actual subraya la necesidad de enfoques personalizados en la neurorrehabilitación de neuropatías periféricas, destacando simultáneamente el valor de aplicar tratamientos estandarizados. Se enfatiza la importancia de las terapias individualizadas para el manejo del dolor neuropático, donde los antidepresivos y anticonvulsivantes son frecuentemente recomendados como fármacos de primera línea, tal como señalan Attal ⁽⁴⁹⁾ y Balzani y colaboradores. ⁽⁵⁰⁾ Dicha personalización se extiende más allá del manejo farmacológico, integrando también intervenciones no farmacológicas, según las recomendaciones de Bernetti y otros. ⁽⁵¹⁾

En el terreno de la rehabilitación física, la kinesioterapia y la hidroterapia desempeñan un papel fundamental, especialmente en trastornos como el síndrome de Guillain-Barré; sobre esto, estudios como el de Souza y colaboradores ⁽⁵²⁾ proporcionan evidencia de su efectividad. Se hace notar la importancia de utilizar medidas de resultado estandarizadas para evaluar la eficacia de estos tratamientos, siendo crucial para asegurar la calidad y la comparabilidad de los datos clínicos, como sugieren Apolo-Arenas y colaboradores. ⁽⁵³⁾

Asimismo, tecnologías emergentes, como las interfaces cerebro-computadora y los dispositivos de pedaleo, anteriormente mencionadas, también están ganando reconocimiento por su contribución potencial en la neurorrehabilitación, destacando estudios como el de Lobaina Delgado y otros ⁽³⁷⁾ que ilustran sus beneficios. Noé y colaboradores ⁽⁴³⁾ recomiendan que la intensidad y la duración del tratamiento sean ajustadas a las necesidades específicas de cada paciente, subrayando la necesidad de adherirse a prácticas basadas en evidencia mientras se personaliza la terapia.

Finalmente, la precisión en el diagnóstico, a través de una historia clínica detallada y pruebas adecuadas, es fundamental para el manejo efectivo de las neuropatías, como lo indica Jiménez y otros. ⁽⁵⁴⁾ Este enfoque meticuloso es indispensable para alinear los tratamientos con las necesidades específicas de cada paciente, asegurando que la neurorrehabilitación no solo sea efectiva sino también eficiente y

adaptada a cada caso individual.

Conclusiones

Este estudio ha identificado que diversas técnicas de neurorehabilitación presentan beneficios significativos en la mejora de la funcionalidad y la calidad de vida de pacientes con neuropatías periféricas. La revisión de la literatura evidencia que tanto las intervenciones físicas convencionales como las tecnologías avanzadas pueden contribuir en gran medida al proceso de recuperación neurológica, favoreciendo la regeneración nerviosa y la recuperación funcional. Estos resultados subrayan la importancia de integrar múltiples modalidades de tratamiento para optimizar los resultados de rehabilitación en este grupo de pacientes.

A pesar de los hallazgos prometedores, aún existen limitaciones que deben considerarse. La variabilidad en los tamaños de muestra y la falta de diversidad en los grupos de estudio pueden limitar la generalización de los resultados. Además, la heterogeneidad en los protocolos de intervención complica la comparabilidad de los resultados y la determinación de las mejores prácticas. La mayoría de los estudios analizados ofrecen seguimiento a corto plazo, lo que no permite evaluar la durabilidad de los efectos de las intervenciones. Dichas limitaciones subrayan la necesidad de cautela al interpretar los resultados y al aplicarlos a la práctica clínica general.

Se sugiere que investigaciones futuras se enfoquen en abordar las limitaciones actuales mediante el diseño de estudios con muestras más grandes y representativas. Es importante estandarizar los protocolos de intervención para facilitar la comparación y replicación de estudios. Además, se recomienda ampliar los períodos de seguimiento para evaluar los efectos a largo plazo de las intervenciones de neurorehabilitación. Investigar más a fondo los mecanismos subyacentes que contribuyen a los beneficios observados podría también

proporcionar elementos valiosos para la personalización del tratamiento, asegurando que las intervenciones sean más efectivas y adaptadas a las necesidades individuales de cada paciente.

Referencias bibliográficas

1. Bayona Prieto j, Bayona E, León-Sarmiento F. Neuroplasticidad, Neuromodulación y Neurorrehabilitación Tres conceptos distintos y un solo fin verdadero. Revista Salud Uninorte. 2011; Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-55522011000100010&script=sci_arttext
2. López Rojas MJ. Métodos fisioterapéuticos en enfermedades neurodegeretivas geriátricas del departamento de Izabal. Revista Académica Sociedad del Conocimiento Cunzac. 2023 Aug 20;3(1):161–7. Disponible en: <https://doi.org/10.46780/sociedadcunzac.v3i1.76>
3. Xia W, Bai Z, Dai R, Zhang J, Lu J, Niu W. The effects of sensory re-education on hand function recovery after peripheral nerve repair: A systematic review. NeuroRehabilitation. 2021 Apr 30;48(3):293–304. Disponible en: <https://doi.org/10.3233/nre-201612>
4. Bakaliuk TG, Gordiychuk IB, Stelmakh HO, Makarchuk NR, Stoliarchuk VM. Application of Shock Wave Therapy in Neurorehabilitation (Literature Review). Art of Medicine. 2022 Apr 9;138–43. Disponible en: <https://doi.org/10.21802/artm.2022.1.21.138>
5. Matesanz García L. Dolor Neuropático periférico en neuropatías por atrapamiento: fisiopatología y manejo de fisioterapia. Journal of MOVE and Therapeutic Science. 2023 Aug 9;5(1):474–80. Disponible en: <https://doi.org/10.37382/jomts.v5i1.914>
6. Alarcón Juárez M, Aguilar Blanco JA. Abordaje Fisioterapéutico en Pacientes con Neuropatía Periférica Secundaria a Quimioterapia con Vincristina: Una Revisión Sistemática. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. 2024 Jun 27;8(3):4955–71. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11698

7. Alexandrino KALG, Pinto FC, Nicolau UCB, Costa RVA da, Mota GBC, Almeida LRB de, et al. Efeitos do exercício terapêutico na neuropatia periférica induzida por quimioterapia: uma revisão sistemática. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*. 2024 May 14;17(5):e6808. Disponible en: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.5-117>
8. García Camacho VM, Naranjo Quinteros JG, García Yance S del C, Reales Chacón LJ. Intervención fisioterapéutica para neuropatía periférica diabética en muñeca y mano. *Anatomía Digital*. 2023 Dec 28;6(4.3):35–50. Disponible en: <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v6i4.3.2792>
9. Orlando G, Balducci S, Boulton AJM, Degens H, Reeves ND. Neuromuscular dysfunction and exercise training in people with diabetic peripheral neuropathy: A narrative review. *Diabetes Res Clin Pract*. 2022 Jan;183:109183. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.109183>
10. Melese H, Alamer A, Hailu M, Kahsay G. Effectiveness of Exercise Therapy on Gait Function in Diabetic Peripheral Neuropathy Patients: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Diabetes Metab Syndr Obes*. 2020 Aug;Volume 13:2753–64. Disponible en: <https://doi.org/10.2147/DMSO.S261175>
11. Dixit S, Tapia V, Sepúlveda C, Olate D, Berríos-Contreras L, Lorca LA, et al. Effectiveness of a Therapeutic Exercise Program to Improve the Symptoms of Peripheral Neuropathy during Chemotherapy: Systematic Review of Randomized Clinical Trials. *Life*. 2023 Jan 18;13(2):262. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/life13020262>
12. Alexiou P, Kottaras A, Lytras D, Iakovidis P, Kottaras I, Chasapis G. A review of the effect of therapeutic exercise on polyneuropathy in patients with diabetes. *International Journal of Orthopaedics Sciences*. 2021 Apr 1;7(2):491–4. Disponible en: <https://doi.org/10.22271/ORTHO.2021.V7.I2G.2666>
13. Pereira Castelo Branco AQ. Efeitos da mobilização neural sobre a dor, força muscular e amplitude de movimento: revisão de literatura. *Saúde em Revista*. 2020 Feb

19;18(50):77.

14. Zhu GC, Chen YW, Tsai KL, Wang JJ, Hung CH, Schmid AB. Effects of Neural Mobilization on Sensory Dysfunction and Peripheral Nerve Degeneration in Rats with Painful Diabetic Neuropathy. *Phys Ther.* 2022 Oct 6;102(10). Disponible en: <https://doi.org/10.1093/ptj/pzac104>
15. Beijora AC, Back AP, Fréz AR, Azevedo MRB, Bertolini GRF. Peripheral electrical stimulation on neuroplasticity and motor function in stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *Neurol Res.* 2023 Dec 2;45(12):1111–26. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01616412.2023.2257419>
16. Hernández Niño JD, Pitombeira Pereira-Pedro K, Mollinedo Cardalda I, Machado de Oliveira I. Electroestimulación funcional para miembros superiores tras el accidente cerebrovascular: una revisión sistemática (Functional electrostimulation for upper limbs after stroke: a systematic review). *Retos.* 2022 Sep 21;46:1073–83. Disponible en: <https://doi.org/10.47197/retos.v46.93934>
17. Falowski S, Pope JE, Raza A. Experiencia temprana en EE. UU con estimulación del Ganglio de la raíz dorsal para el tratamiento de la Neuropatía periférica de las extremidades inferiores: un estudio retrospectivo multicéntrico de casos. *NeuroTarget.* 2020 Apr 1;14(1):53–62. Disponible en: <https://doi.org/10.47924/neurotarget202074>
18. Veintimilla Rojas MS, Ochoa Aucay JE. Neuro estímulo eléctrico periférico no invasivo como opción terapéutica en temblor esencial. *Revista Vive.* 2023 Feb 14;6(16):183–94. Disponible en: <https://doi.org/10.33996/revistavive.v6i16.217>
19. Calvert JS, Grahn PJ, Zhao KD, Lee KH. Aparición de la Estimulación Eléctrica Epidural para Facilitar la Funcionalidad de la Red Sensoriomotora Luego de Daño Espinal. *NeuroTarget.* 2021 Apr 1;15(1):62–81. Disponible en: <https://doi.org/10.47924/neurotarget202179>
20. Pereira MSS. Estratégias e benefícios da reabilitação fisioterapêutica em pacientes com neuropatia diabética: uma revisão bibliográfica. In: *Anais do III Congresso*

Brasileiro de Estudos Patológicos On-line. Revista Multidisciplinar em Saúde; 2024.

Disponível em: <https://doi.org/10.51161/conbesp2024/29348>

21. Alenazy M, Daneshgar Asl S, Petrigna L, Feka K, Alvarez E, Almklass AM, et al. Treatment with electrical stimulation of sensory nerves improves motor function and disability status in persons with multiple sclerosis: A pilot study. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2021 Dec;61:102607. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2021.102607>
22. Almklass AM, Capobianco RA, Feeney DF, Alvarez E, Enoka RM. Sensory nerve stimulation causes an immediate improvement in motor function of persons with multiple sclerosis: A pilot study. *Mult Scler Relat Disord*. 2020 Feb;38:101508. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.msard.2019.101508>
23. Alarcón JB, Chuhuaicura PB, Sluka KA, Vance CGT, Fazan VPS, Godoy KA, et al. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation in Nerve Regeneration: A Systematic Review of In Vivo Animal Model Studies. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*. 2022 Dec;25(8):1248–58. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neurom.2021.12.009>
24. Beijora AC, Back AP, Fréz AR, Azevedo MRB, Bertolini GRF. Peripheral electrical stimulation on neuroplasticity and motor function in stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *Neurol Res*. 2023 Dec 2;45(12):1111–26. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01616412.2023.2257419>
25. Velázquez Chávez SI, Hernandez Jacquez JI, Cepeda Rubio MFJ, Juárez Rodríguez CJ, Piña Santos DB, Guerrero Lopez GD. Efecto de los electroestimuladores TENS en los síntomas motores de la enfermedad de Parkinson. *Medicina e Investigación Universidad Autónoma del Estado de México*. 2023 May 30;11(1):1. Disponível em: <https://doi.org/10.36677/medicinainvestigacion.v11i1.20293>
26. Carvalho CP, Tomaz SS dos S, Wilchez CM, Biaggi AC, Lunardi C, Carniel CF, et al. Estimulação elétrica nervosa transcutânea (TENS) em pacientes oncológicos: Uma revisão integrativa/Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in cancer

- patients: An integrative review. *Brazilian Journal of Health Review*. 2021 Oct 16;4(5):22440–54. Disponible en: <https://doi.org/10.34119/bjhrv4n5-337>
27. MC LG, M. LL, F. ÁS, N. GC. Effectiveness of ultrasound-guided percutaneous neuromodulation on peripheral neuropathies induced by chemotherapy: a pilot study. *Revista Fisioterapia Invasiva/Journal of Invasive Techniques in Physical Therapy*. 2019 Dec 20;02(02):084–5. Disponible en: <https://doi.org/10.1055/s-0039-3401866>
28. Cañarte-Rodríguez TC, Soledispa Cañarte PA, Soledispa Cañarte BJ, Sarmiento Tómalá GM, García Franco LP. Use of Robotic Rehabilitation in Patients with Diseases of the Nervous System. *Salud, Ciencia y Tecnología*. 2023 Dec 12;3:569. Disponible en: <https://doi.org/10.56294/saludcyt2023569>
29. Ramírez Zamora JD, Domínguez Ramírez OA, Sepúlveda Cervantes G, Ramos Velasco LE, Jarillo Silva A. Interfaz háptica adaptable para neurorrehabilitación y fisioterapia asistida en miembro superior. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*. 2022 Aug 31;10(Especial3):30–9. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iespecial3.8936>
30. Garlet AB, Righi NC, Schardong J, Della Mèa Plentz R. Effects of robotic rehabilitation using the Erigo® device on patients with neurological injury: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2024 May 18;19(4):1135–44. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/17483107.2022.2151656>
31. Cano-de-la-Cuerda R, Blázquez-Fernández A, Marcos-Antón S, Sánchez-Herrera-Baeza P, Fernández-González P, Collado-Vázquez S, et al. Economic Cost of Rehabilitation with Robotic and Virtual Reality Systems in People with Neurological Disorders: A Systematic Review. *J Clin Med*. 2024 Mar 7;13(6):1531. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/jcm13061531>
32. Matamala-Gomez M, Maisto M, Montana JI, Mavrodiev PA, Baglio F, Rossetto F, et al. The Role of Engagement in Teleneurorehabilitation: A Systematic Review. *Front Neurol*. 2020 May 6;11. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00354>
33. Fazekas G, Tavaszi I. The future role of robots in neuro-rehabilitation. *Expert Rev*

- Neurother. 2019 Jun 3;19(6):471–3. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/14737175.2019.1617700>
34. Renteria L, Veintimilla Livi MF, Mayacela Rojas CM, Torres Rodriguez KH. Design and implementation of an electronic device for the rehabilitation of the lower extremity in patients with loss of partial mobility. Medwave. 2023 Sep 1;23(S1):eUTA366. Disponible en: <https://doi.org/10.5867/medwave.2023.s1.uta366>
35. Landolo R, Marini F, Semprini M, Laffranchi M, Mugnosso M, Cherif A, et al. Perspectives and Challenges in Robotic Neurorehabilitation. Applied Sciences. 2019 Aug 5;9(15):3183. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/APP9153183>
36. Cisnal A, Moreno V, Pérez Turiel J, Alonso R, Fraile Marinero JC, Lobo V. Estrategia para el control háptico, basado en electromiografía, de un exoesqueleto de mano para neurorehabilitación. In: Libro de Actas - 11 Simposio CEA de Bioingeniería. València: Editorial Universitat Politècnica de València; 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/ceabioing.2019.10038>
37. Lobaina Delgado A, Delisle-Rodriguez D, Ferreira da Rocha A, Salvador Figueroa E, López-Delis A. Revisión sobre nuevos enfoques de terapias de neurorehabilitación para pacientes con trastornos neurológicos mediante dispositivos de pedaleo. Neurología Argentina. 2024 Jan;16(1):31–43. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.neuarg.2024.02.001>
38. Del-Ama AJ, Megía García-Carpintero Á, Lozano-Berrio V, Gil-Agudo A. Cambios en la cinemática articular tras entrenamiento de la marcha con exoesqueleto robótico ambulatorio. In: Libro de Actas - 11 Simposio CEA de Bioingeniería. València: Editorial Universitat Politècnica de València; 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/CEABIOING.2019.10065>
39. Melo Filho CG, Vieira BM, Gonzalez LMM, Castro ÍM, Lima AMS, Chaves CG, et al. A eficácia dos tratamentos para a dor neuropática. Research, Society and Development. 2022 Jul 21;11(10):e17111032248. Disponible en: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.32248>

40. Bula-Oyola E, Belda-Lois JM, Porcar-Seder R, Page Á. Effectiveness of electrophysical modalities in the sensorimotor rehabilitation of radial, ulnar, and median neuropathies: A meta-analysis. PLoS One. 2021 Mar 18;16(3):e0248484. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248484>
41. Meneses Castaño C, Penagos P, Yamile Jaramillo B. Efectividad de la tecnología robótica y la realidad virtual para la rehabilitación de la función motora en la parálisis cerebral. Revisión sistemática. Rehabilitación (Madr). 2023 Jul;57(3):100752. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rh.2022.07.001>
42. Oaklander AL, Gimigliano F. Are the treatments for chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy (CIDP) effective and safe? A Cochrane Overview summary with commentary. Neurorehabilitation. 2019 Jul 17;44(4):609–12. Disponible en: <https://doi.org/10.3233/NRE-189007>
43. Noé E, Gómez A, Bernabeu M, Quemada I, Rodríguez R, Pérez T, et al. Guía: Principios básicos de la neurorrehabilitación del paciente con daño cerebral adquirido. Recomendaciones de la Sociedad Española de Neurorrehabilitación. Neurología. 2024 Apr;39(3):261–81. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2021.06.009>
44. Micera S, Caleo M, Chisari C, Hummel FC, Pedrocchi A. Advanced Neurotechnologies for the Restoration of Motor Function. Neuron. 2020 Feb;105(4):604–20. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.01.039>
45. Nizamis K, Athanasiou A, Almpani S, Dimitrousis C, Astaras A. Converging Robotic Technologies in Targeted Neural Rehabilitation: A Review of Emerging Solutions and Challenges. Sensors. 2021 Mar 16;21(6):2084.
46. Cano-de-la-Cuerda R, Blázquez-Fernández A, Marcos-Antón S, Sánchez-Herrera-Baeza P, Fernández-González P, Collado-Vázquez S, et al. Economic Cost of Rehabilitation with Robotic and Virtual Reality Systems in People with Neurological Disorders: A Systematic Review. J Clin Med. 2024 Mar 7;13(6):1531. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/jcm13061531>
47. Agbemanyole KA, Agbohessou KG, Pons C, Lenca P, Rémy-Néris O, Goff-Pronost M

- Le. Economic analysis of digital motor rehabilitation technologies: a systematic review. *Health Econ Rev.* 2024 Jul 17;14(1):52. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13561-024-00523-5>
48. Zanatta F, Giardini A, Pierobon A, D'Addario M, Steca P. A systematic review on the usability of robotic and virtual reality devices in neuromotor rehabilitation: patients' and healthcare professionals' perspective. *BMC Health Serv Res.* 2022 Dec 20;22(1):523.
49. Attal N. Pharmacological treatments of neuropathic pain: The latest recommendations. *Rev Neurol (Paris).* 2019 Jan;175(1–2):46–50. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2018.08.005>
50. Balzani E, Fanelli A, Malafoglia V, Tenti M, Ilari S, Corraro A, et al. A Review of the Clinical and Therapeutic Implications of Neuropathic Pain. *Biomedicines.* 2021 Sep 16;9(9):1239. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9091239>
51. Bernetti A, Agostini F, de Sire A, Mangone M, Tognolo L, Di Cesare A, et al. Neuropathic Pain and Rehabilitation: A Systematic Review of International Guidelines. *Diagnostics.* 2021 Jan 5;11(1):74. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/diagnostics11010074>
52. Souza LM de, Silva M do N, Martins TLS, Pereira VLS e S, Fernandes PF. Atuação e tratamento fisioterapêutico com enfoque na neuropatia periférica de Guillain Barré. *Revista Acadêmica Online.* 2023;IX(45).
53. Apolo-Arenas MD, Jerônimo AF de A, Caña-Pino A, Fernandes O, Alegrete J, Parraca JA. Standardized Outcomes Measures in Physical Therapy Practice for Treatment and Rehabilitation of Cerebral PALSY: A Systematic Review. *J Pers Med.* 2021 Jun 26;11(7):604. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/jpm11070604>
54. Jiménez DEB, Ramírez MRH, Celi JC, Rodríguez JV. Neuropatías y radiculopatías. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado.* 2023 Apr;13(77):4547–60. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.med.2023.04.001>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiamiento

No se recibió patrocinio de ninguna otra fuente para llevar a cabo este estudio.

Contribuciones de los autores

1. *Conceptualización*: Paulina Francisca Madrid Peralta
2. *Curación de datos*: Paulina Francisca Madrid Peralta
3. *Análisis formal*: Paulina Francisca Madrid Peralta
4. *Adquisición de fondos*: No
5. *Investigación*: Paulina Francisca Madrid Peralta
6. *Metodología*: Paulina Francisca Madrid Peralta
7. *Administración del proyecto*: Paulina Francisca Madrid Peralta
8. *Recursos y software*: No
9. *Supervisión*: Paulina Francisca Madrid Peralta
10. *Validación*: Paulina Francisca Madrid Peralta
11. *Visualización*: Paulina Francisca Madrid Peralta
12. *Redacción borrador original*: Paulina Francisca Madrid Peralta
13. *Revisión y edición*: Paulina Francisca Madrid Peralta