



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE EXOESQUELETO EN LA REHABILITACIÓN DE MANO DERECHA

**METHODOLOGY FOR THE APPLICATION OF
EXOSKELETON IN RIGHT HAND REHABILITATION**

María José Bautista González

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez, México

Emmanuel Patricio Rafael

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez, México

Omar Eslava Osorio

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15039

Metodología para la Aplicación de Exoesqueleto en la Rehabilitación de Mano Derecha

María José Bautista González¹

mariaj.bautista@utxicotepec.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0001-9506-3551>

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez
México

Emmanuel Patricio Rafael

emmanuel.patricio@utxicotepec.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2680-2565>

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez
México

Omar Eslava Osorio

omar.eslava@utxicotepec.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9617-9169>

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez
México

RESUMEN

Introducción: La mano es un complejo importante del cuerpo humano, cuando sufre una alteración por un traumatismo en el proceso de rehabilitación se convierte en un proceso complicado, por lo que consideramos importante el uso de herramientas como los exoesqueletos que favorecen la recuperación.

Metodología: Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica utilizando diferentes bases de datos como Redalyc, Pubmed y Google Académico, incluyendo las siguientes palabras claves: exoesqueleto, metodología, rehabilitación y mano. Tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, la eliminación de los artículos duplicados y el análisis crítico, se seleccionaron 14 artículos. **Resultados y discusiones:** La revisión bibliográfica se obtuvo a través de un filtrado de artículos en idioma inglés y español que tuvieran relevancia con el uso de exoesqueletos en proceso de rehabilitación de la mano con fecha de publicación de 2019 al 2024. El conjunto de archivos recuperados de la búsqueda fue de 104, los cuales se sometieron a un análisis del contenido con énfasis al objetivo de esta investigación.

Conclusiones: La terapia asistida a través de exoesqueletos ha incursionado ampliamente en la actualidad. Estos dispositivos permiten manipular una extremidad del cuerpo, con el objetivo de brindar soporte y movimiento al paciente.

Palabras clave: exoesqueleto, metodología, rehabilitación y mano

¹ Auto principal

Correspondencia: mariaj.bautista@utxicotepec.edu.mx

Methodology for the Application of Exoskeleton in Right Hand Rehabilitation

ABSTRACT

Introduction: The hand is an important complex of the human body, when it suffers an alteration due to trauma in the rehabilitation process it becomes a complicated process, which is why we consider it important to use tools such as exoskeletons that promote recovery. **Methodology:** A bibliographic search was carried out using different databases such as Redalyc, Pubmed and Google Scholar, including the following keywords: exoskeleton, methodology, rehabilitation and hand. After applying the inclusion and exclusion criteria, eliminating duplicate articles and critical analysis, 14 articles were selected. **Results and discussions:** The bibliographic review was obtained through a filtering of articles in English and Spanish that were relevant to the use of exoskeletons in the process of hand rehabilitation with publication dates from 2019 to 2024. The set of files recovered of the search was 104, which were subjected to a content analysis with emphasis on the objective of this research. **Conclusions:** Therapy assisted through exoskeletons has made extensive inroads today. These devices allow the manipulation of an extremity of the body, with the aim of providing support and movement to the patient.

Keywords: exoskeleton, methodology, rehabilitation and hand

Artículo recibido 02 octubre 2024

Aceptado para publicación: 15 noviembre 2024



INTRODUCCIÓN

La mano, es un área corporal compleja importante para la realización de las diversas actividades de la vida diaria e instrumentales que tienen las personas, cuando ésta sufre una lesión traumática la función corporal se observa comprometida. De acuerdo a Arroyo-Berezowsky C. y Quinzaños-Fresnedo J. (2021) describieron la epidemiología de las lesiones de mano y muñeca tratadas durante un año en el servicio de urgencias de un Centro Hospitalario de Tercer Nivel, obtuvieron que las lesiones en mano constituyeron entre 6.6 y 28.6% de las lesiones del sistema musculoesquelético, siendo los pacientes hombres entre 21 y 30 años de edad los más afectados y las lesiones más comunes fueron fracturas, contusiones y esguinces. La rehabilitación es fundamental para una óptima recuperación del individuo, muchas de las ocasiones el fisioterapeuta carece de dispositivos o herramientas tecnológicas que son de utilidad y ayuda en los procesos de recuperación funcional. Sin embargo, la falta de una metodología aplicable para el uso de los exoesqueletos en los procesos de rehabilitación, hace compleja la utilización de los mismos. Por lo que el objetivo de esta investigación consiste en analizar las diferentes metodologías de aplicación de los exoesqueletos en procesos de rehabilitación, para generar un protocolo para el uso apropiado de estos en la rehabilitación de la mano derecha a través de una revisión bibliográfica.

METODOLOGÍA

La metodología empleada para la realización de este artículo se ha basado en una búsqueda bibliográfica en las siguientes bases de datos Redalyc, PubMed, y Google Académico, utilizando como palabras clave y descriptores: exoesqueleto, metodología, rehabilitación y mano. De todos los artículos obtenidos tras realizar la búsqueda con las palabras clave mencionadas se aplicaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de inclusión: Se consideraron artículos que su año de publicación fuera de 2019 a la fecha. Se incluyeron ensayos clínicos aleatorizados, prototipos, revisiones sistemáticas y revisiones de literatura que cumplieran con las palabras claves antes mencionadas, así como artículos en idioma inglés y español.

Criterios de exclusión: Estudios que su año de publicación fuera inferior a 2019 y que no contemplaran las palabras clave o que no estuvieran completos o disponibles.



En esta investigación, se contemplaron metodologías de aplicación de exoesqueleto para rehabilitación de la mano diseñados para realizar movimientos y ayudar a los pacientes en actividades de la vida diaria, como agarrar objetos. Así como metodologías donde se trabajaron los tiempos de aplicación, series y periodicidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente revisión se abordó el uso de exoesqueletos en procesos de rehabilitación de mano, se utilizó una metodología documental bibliográfica con base a la revisión crítica de la literatura científica disponible en bases de datos especializadas. Para la búsqueda de artículos se utilizó una técnica aleatoria y consecutiva en estas bases de datos utilizando palabras claves de: exoesqueleto, metodología, rehabilitación y mano.

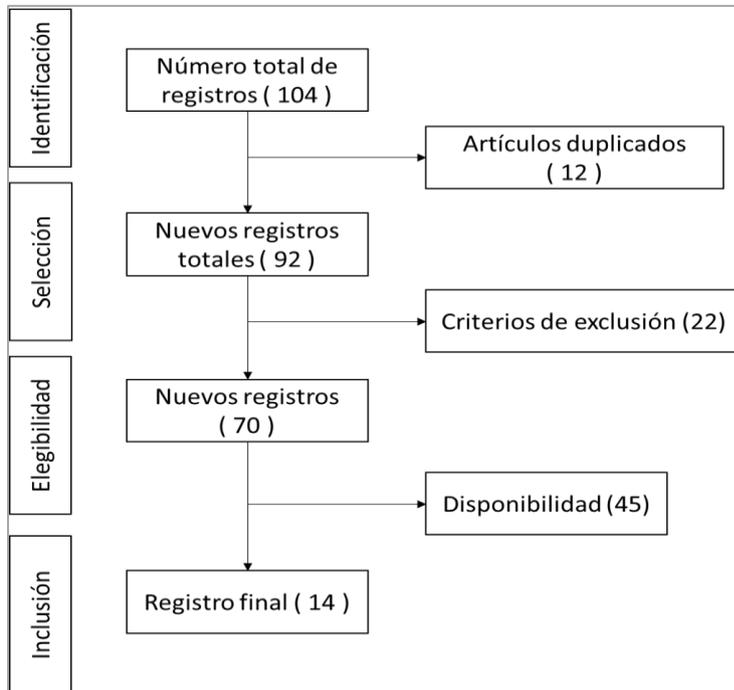
Los registros de la bibliografía se obtuvieron a través de un filtrado de artículos en idioma inglés y español que tuvieran relevancia y correlación con el uso de exoesqueletos en proceso de rehabilitación de la mano con fecha de publicación de 2019 al 2024. Dichos documentos se trataron de artículos científicos, revisiones sistemáticas, tesis de grado y otros documentos de interés científico.

Por su parte el equipo de investigación participó activamente en la lectura y análisis de crítico de los datos establecidos como criterios de inclusión para la aplicación de un exoesqueleto de mano, para ello se prioriza la idea y enfoque propuesto en la metodología de este estudio, el cual consiste en concluir en una metodología idónea aplicable para el uso óptimo de un exoesqueleto diseñado para la rehabilitación de mano. En este contexto, se empleó la metodología PRISMA para consolidar la información de la revisión sistemática.

El conjunto de archivos recuperados de la búsqueda fue de 104, los cuales se sometieron a un análisis del contenido con énfasis al objetivo de esta investigación. Durante la primera etapa se identificaron 12 artículos que componían la similitud a las palabras claves, aplicando los criterios de exclusión 22 archivos, esto tras una revisión específica de título, año de publicación, tipo de estudio. La aplicación del análisis de riesgo metodológico reveló que el 80% de los estudios incluidos presentaban un nivel bajo de riesgo de sesgo metodológico, mientras que el 20% restante tenía niveles de riesgo "altos". En consecuencia, se eliminaron los registros de alto riesgo para garantizar que las inferencias se basan en evidencia concluyente.

Después de este proceso, se identificaron 14 estudios, cuyos resultados se presentan en la siguiente sección.

Figura 1



A partir de la revisión de la literatura se encontró que el dispositivo colocado en la mano del usuario debía ser de un peso menor a 800 g y menos de 25 cm de longitud esto de modo que el exoesqueleto pueda adaptarse a varios tamaños de manos sin causar mayor fatiga en el paciente. Además de que el dispositivo debe poder resistir al paciente y fuerzas gravitacionales, ser fácil de quitar o apagar, si es necesario, en caso de emergencia, el equipo se sugirió fuera portátil y resistente a diferentes cambios de posicionamiento (Rami, 2023).

Como resultados, se logra resumir que la metodología de aplicación para la terapia robótica debe considerar 40 - 45 minutos de sesiones individuales por día durante 20 sesiones de terapia (5 días a la semana durante 4 semanas) (Raffaele, et al. 2020 Yinlong Zhu et al. 2022). Dentro de este se proponen siete ejercicios asistidos por robot que incluyeran: apertura de agarre, prono supinación, identificación de la rigidez durante el agarre, identificación de la rigidez al pellizcar el dedo índice, apertura de agarre, enseñanza y reproducción de los ángulos de pronosupinación (Yinlong Zhu et al. 2022). Para cada tarea de agarre en total $3 \times 3 \times 10 = 90$ repeticiones en orden aleatorio (Mayer, 2022).

Dentro de las metodologías implicadas en el uso de exoesqueleto en mano, Neha Singh, et. al. (2021) se aplicaron terapias robóticas durante 45 minutos de sesiones individuales por día durante 20 sesiones de terapia (5 días a la semana durante 4 semanas). Por otro lado, Raffaele Ranzani, et. al. (2020) aplicaron un ensayo de control aleatorio. Distribuidas durante 4 semanas, todos los sujetos recibieron tres sesiones de terapia neurocognitiva (es decir, 2×45 min y 1×30 min) por día centrándose en la función de la mano, concluyendo que, la terapia neurocognitiva asistida por robot de la función de la mano permite una recuperación motora no inferior en comparación con la terapia neurocognitiva convencional de dosis equivalente cuando se realiza durante la rehabilitación hospitalaria en la etapa subaguda. Sin embargo, la mano es una de las anatomías más complejas del cuerpo humano debido a su gran profundidad de campo y su gran rango de movimiento en un espacio pequeño y compacto que a los ingenieros les resulta aún más difícil programar a la hora de la producción de prototipos. Por lo tanto, comprender la biomecánica de la mano es un factor importante en el diseño de sistemas que puedan imitar el movimiento y beneficiar potencialmente tanto a personas con discapacidad como sanas. Afortunadamente, los diseñadores cómo se observó en el análisis crítico ya se ha trabajado en este tipo de dispositivos, ya que los avances de la tecnología consideran la fisiología corporal y fisiopatología de las lesiones para obtener un avance en este sentido.

CONCLUSIONES

En la actualidad, la robótica ha incursionado ampliamente en el área de fisioterapia. Los exoesqueletos para la rehabilitación son dispositivos que permiten manipular una extremidad del cuerpo con el objetivo de realizar procesos terapéuticos que brinden soporte y movimiento al paciente. Múltiples investigaciones afirman que el diseño de un exoesqueleto para la recuperación de la mano implica varios factores a considerar en su creación. Este aparato con propósito terapéutico, debe ser un elemento hecho de material resistente y ligero, adicionalmente a su flexibilidad para realizar los movimientos característicos de dicho complejo articular.

De acuerdo a estudios, el exoesqueleto de mano fue aplicado en población sana y con padecimientos que conllevan una limitación del segmento antes mencionado. Estos dispositivos permiten la flexibilidad del dorso de la mano y del mecanismo del pulgar.



Las etapas de la secuencia de movimiento fueron: muñeca en posición neutral, extensión del dedo (posición inicial), extensión de la muñeca, flexión del dedo (posición final), vuelta a la flexión de la muñeca, extensión del dedo (hacia la posición inicial); con una velocidad constante. Según la bibliografía analizada, el entrenamiento con el exoesqueleto tuvo una duración promedio de 45 minutos de sesiones individuales, 5 días a la semana durante 4 semanas, obteniendo un total de 20 sesiones. Los resultados experimentales demostraron que los dispositivos desarrollados tienen el potencial de mejorar la libertad de movimiento de la mano y el rango de agarre con éxito.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Alhamad, R., Seth, N., & Abdullah, H. A. (2023). Initial testing of robotic exoskeleton hand device for stroke rehabilitation. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(14), 6339. <https://doi.org/10.3390/s23146339>
2. Singh, N., Saini, M., Kumar, N., Srivastava, M. V. P., & Mehndiratta, A. (2021). Evidence of neuroplasticity with robotic hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation: a randomized controlled trial. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00867-7>
3. Ranzani R, Lamercy O, Metzger JC, Califfi A, Regazzi S, Dinacci D, Petrillo C, Rossi P, Conti FM, Gassert R. (2020). Neurocognitive robot-assisted rehabilitation of hand function: a randomized control trial on motor recovery in subacute stroke. *J Neuroeng Rehabil.* 24;17(1):115. <https://doi:10.1186/s12984-020-00746-7> .
4. Zhu, Y., Gong, W., Chu, K., Wang, X., Hu, Z., & Su, H. (2022). A novel wearable soft glove for hand rehabilitation and assistive grasping. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(16), 6294. <https://doi.org/10.3390/s22166294>
5. Yang, S.-H., Koh, C.-L., Hsu, C.-H., Chen, P.-C., Chen, J.-W., Lan, Y.-H., Yang, Y., Lin, Y.-D., Wu, C.-H., Liu, H.-K., Lo, Y.-C., Liu, G.-T., Kuo, C.-H., & Chen, Y.-Y. (2021). An instrumented glove-controlled portable hand-exoskeleton for bilateral hand rehabilitation. *Biosensors*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/bios11120495>
6. Singh, N., Saini, M., Kumar, N., Srivastava, M. V. P., & Mehndiratta, A. (2021). Evidence of neuroplasticity with robotic hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation: a randomized



- controlled trial. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 18(1), 76. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00867-7>
7. Cisnal, A., Gordaliza, P., Pérez Turiel, J., & Fraile, J. C. (2023). Interaction with a hand rehabilitation exoskeleton in EMG-driven bilateral therapy: Influence of visual biofeedback on the users' performance. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(4), 2048. <https://doi.org/10.3390/s23042048>
 8. Xu, J., Xue, Y., Yu, Z., Zhao, D., Li, X., Fan, J., & Han, D. (2023). Effect of exoskeleton manipulator on hand function rehabilitation for postburn patients. *Disability and Rehabilitation*, 45(24), 4148–4155. <https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2143577>
 9. Xia, K., Chen, X., Chang, X., Liu, C., Guo, L., Xu, X., Lv, F., Wang, Y., Sun, H., & Zhou, J. (2022). Hand exoskeleton design and human-machine interaction strategies for rehabilitation. *Bioengineering (Basel, Switzerland)*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/bioengineering9110682>
 10. Triolo, E. R., & BuSha, B. F. (2022). Design and experimental testing of a force-augmenting exoskeleton for the human hand. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-022-00997-6>
 11. Mayer, T. A., Harsch, A.-K., Koska, D., Hensel-Unger, R., & Maiwald, C. (2022). Effects of an active hand exoskeleton on forearm muscle activity in industrial assembly grips. *Work (Reading, Mass.)*, 72(4), 1577–1591. <https://doi.org/10.3233/WOR-211272>
 12. Nazari, V., Pouladian, M., Zheng, Y.-P., & Alam, M. (2021). A compact and lightweight rehabilitative exoskeleton to restore grasping functions for people with hand paralysis. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(20), 6900. <https://doi.org/10.3390/s21206900>
 13. Haghshenas-Jaryani, M., Patterson, R. M., Bugnariu, N., & Wijesundara, M. B. J. (2020). A pilot study on the design and validation of a hybrid exoskeleton robotic device for hand rehabilitation. *Journal of Hand Therapy: Official Journal of the American Society of Hand Therapists*, 33(2), 198–208. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2020.03.024>
 14. Kim, S., Lee, J., Park, W., & Bae, J. (2017). Quantitative evaluation of hand functions using a wearable hand exoskeleton system. *IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics, 2017*, 1488–1493. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009458>
 15. Abbate, G., Giusti, A., Randazzo, L., & Paolillo, A. (2023). A mirror therapy system using virtual



reality and an actuated exoskeleton for the recovery of hand motor impairments: a study of acceptability, usability, and embodiment. *Scientific Reports*, 13(1), 1–8.

<https://doi.org/10.1038/s41598-023-49571-7>

