

Artículo de revisión

Perspectivas robóticas en la rehabilitación y terapia médica en pacientes con problemas motrices
Robotic perspectives in rehabilitation and medical therapy in patients with motor problems.

León Martínez Fernando Mauricio*. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3969-2986>,
Durán Ortiz Doménica Lizbeth*. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6403-7054> ,
León Pineda Camila Fernanda *. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7125-9197>,
Cabrera Delgado Juan José*. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1974-5127> ,
Correa Quezada Romel Francisco*. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3428-9776>

*Universidad Católica de Cuenca, Carrera de Medicina, Cuenca-Ecuador

fleon@ucacue.edu.ec

Recibido: 18 de julio del 2024

Revisado: 09 de septiembre del 2024

Aceptado: 14 de noviembre del 2024

Resumen.

Introducción: Los exoesqueletos (EXO) han sido un gran avance dentro de la medicina, su integración como método terapéutico ha significado una gran mejora para la recuperación motor y sensitiva de personas con un accidente cerebrovascular (ACV) y que han perdido la capacidad de realizar sus actividades cotidianas con normalidad.

Objetivo: Investigar la importancia de las innovaciones robóticas en el ámbito médico mediante exoesqueletos que mejoran el día a día de los pacientes que han sufrido pérdida funcional de alguna de sus extremidades.

Metodología: Para la siguiente revisión sistemática se trabajó con diversas bases de datos científicas, las cuales junto a la implementación de operadores de búsqueda nos brindaron información de carácter fidedigno con la cual se pudo trabajar para el desarrollo de interrogantes acerca de la investigación.

Resultados: Estos robots han conseguido mejorar actividades como la escritura, y manejo de objetos, mientras que en miembros inferiores se ha podido evidenciar mejoras en marcha, coordinación y equilibrio.

Conclusiones: Los exoesqueletos han llegado para evolucionar el área de salud y dar una mano gigante en el ámbito de terapia rehabilitativa, brindando así una nueva esperanza a ciertos usuarios que no pueden llevar una vida cotidiana tranquila.

Palabras claves: Accidente cerebrovascular-Discapacidad-Exoesqueleto-Rehabilitación.

Abstract

Introduction: Exoskeletons (EXO) have been a great advance in medicine, their integration as a therapeutic method has meant a great improvement for the motor and sensory recovery of people with a cerebrovascular accident (CVA) and who have lost the ability to carry out their activities. everyday life normally.

Objectives: To investigate the importance of robotic innovations in the medical field by means of exoskeletons that improve the daily life of patients who have suffered functional loss of any of their limbs.

Methodology: To investigate how exoskeletons have managed to promote an improvement in the lives of patients with motor disabilities, in addition, to evaluate the psychological impact that has occurred in people who receive these therapies.

Results: These robots have managed to improve activities such as writing and object handling, while improvements in gait, coordination and balance have been evident in the lower limbs.

Conclusions: Exoskeletons have come to evolve the health area and lend a giant hand in the field of rehabilitative therapy, thus providing new hope to those people who have lost the ability to lead a calm daily life.

Keywords: Disability-Exoskeleton-Rehabilitation-Stroke.

Introducción.

La participación en diversas actividades cotidianas del ser humano y los ACV han demostrado ser factores significativos en la aparición de lesiones y complicaciones físicas, que pueden restringir la movilidad y afectar el rendimiento fisiológico de las personas (PERS) generando incapacidades que reduce y limita oportunidades de un buen vivir (1,2). La Organización Mundial de la Salud menciona que existen mil millones de habitantes viven con cierta discapacidad, esto equivale a un cuarto de población a nivel mundial. Dichas cifras subrayan la necesidad de soluciones innovadoras y tecnológicas como lo son los EXO, aparatos los cuales son creados como nuevas herramientas con la misma morfología de un miembro requerido en pacientes (PAC) que han perdido su capacidad motora y terapéutica cognitivas, teniendo como objetivo facilitar el estilo de vida de los PAC (3).

Los EXO aplicados a la medicina han demostrado resultados prometedores dentro del área de la salud y la terapia (TP) de rehabilitación (RH). Los estudios clínicos y las investigaciones piloto han destacado los beneficios potenciales de los EXO en la mejora de la movilidad, disminución de sobrecarga muscular y la recuperación funcional en PERS que poseen algún tipo de discapacidad física. Además, se ha observado que el uso de EXO puede tener un impacto psicosocial positivo y emocional de los usuarios afectados al mejorar su autoestima y su independencia ya que las PERS recuperan la facultad de realizar actividades cotidianas sin que les represente dificultades, estas pueden ser actividades laborales, sociales y recreativas aportando así una mejoría en la satisfacción personal; el uso de estos aparatos puede minimizar en este grupo el sentimiento de dependencia de los demás lo cual es crucial para conservar su salud emocional y mental ayudándolos en la adaptación a su entorno y situación en conjunto con múltiples privilegios tales como adquirir una mejor imagen, aumentar su interacción social, disminuir sus niveles de estrés y ansiedad (1). Por lo tanto, el desarrollo de EXO ofrece una alternativa positiva en cuanto al proceso de RH, controlando la intención del movimiento de sus extremidades aumentando su movilidad al realizar actividades como caminar, correr, imaginar su dirección,

analizar las neuro señales, minimizando significativamente el dolor de miembros fantasmas si es el caso, siendo estos factores que otorgan ventajas sobre su autonomía (4).

La incapacidad de mover articulaciones como hombro, codo, muñeca, son principales impedimentos en PAC que han sufrido ACV o traumatismos que involucren el funcionamiento fisiológico normal. El desarrollo de EXO dirigidos a miembros superiores ha demostrado una mejora progresiva en cuanto a la realización de movimientos específicos como son: sincronización en la extensión de brazo-antebrazo, la flexión-extensión de muñeca y la flexión falángica de los dedos de la mano, siendo importantes en la restauración de la funcionalidad ya que existen labores diarias como el escribir, comer, vestirse, manejar herramientas que en conjunto son necesarias en el día a día de estos PAC y es fundamental contar con la presencia de este tipo de complementos (5). Por otro lado, los EXO de miembros inferiores están diseñados con una configuración antropomórfica con la finalidad de proporcionar al individuo mayor fuerza, velocidad y torque de asistencia controlable además de aumentar el rendimiento humano en la marcha permitiendo así desempeñar funciones que en su momento representaban una incapacidad como lo son las actividades diarias como ir al trabajo, movilizarse mediante caminatas, hacer compras, entre otras (1). Conservar un estilo de vida activo puede prevenir cientos de enfermedades que podrían afectar en un futuro con la aparición de enfermedades tales como la diabetes, hipertensión arterial, obesidad, por lo que los EXO que suplan la función de los miembros inferiores permiten una mejoría en la salud cardiovascular, muscular y general de los individuos, La motivación para realizar el tema de EXO es como estos transforman la vida de las personas con discapacidad, identificando las ventajas claves que ofrecen y analizando el impacto en diferentes sucesos de la vida diaria. El objetivo de este estudio es Investigar la importancia de las innovaciones robóticas en el ámbito médico mediante exoesqueletos que mejoran el día a día de los pacientes que han sufrido pérdida funcional de alguna de sus extremidades.

Metodología

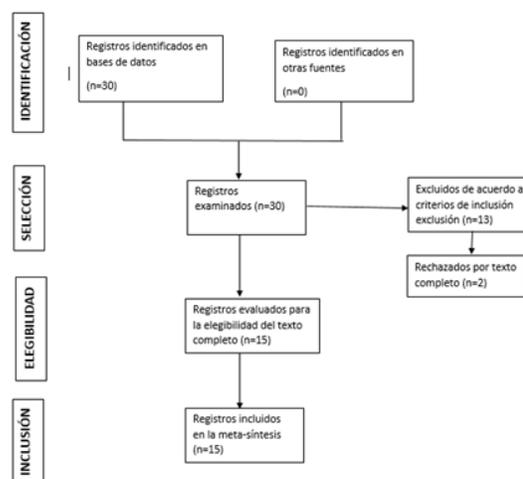
Para la presente revisión sistemática, se realizó búsquedas exhaustivas en las posteriores bases como lo son Web of Science, PubMed y Scopus, abarcando un lapso desde enero 2019 hasta diciembre 2024. Esta investigación se ejecutó en español e inglés para asegurar una cobertura amplia y diversa de la literatura relevante. Los artículos seleccionados debían cumplir con los criterios de inclusión previamente establecidos, que incluyen perspectivas robóticas novedosas, terapias innovadoras, efectividad de la renovación y nuevas innovaciones en el campo de TP física.

Para optimizar la búsqueda y asegurar la relevancia de los hallazgos, se trabajó con la plataforma de “Descriptor en Ciencias de la Salud”. Las palabras claves implementadas en el análisis fueron: “Robotics”, “Rehabilitation”, “Therapeutic”. Estas palabras fueron combinadas utilizando el operador booleano «AND», resultado en la ecuación de búsqueda: (((Robotics)) AND ((Rehabilitation)) AND ((Therapeutic))). Esta estrategia de búsqueda permitió enfocar la recopilación de datos en estudios específicos y pertinentes al tema de investigación.

Dentro de los criterios de inclusión definidos en este análisis sistemático fueron: artículos originales, ensayos aleatorizados y controlados, publicaciones en los últimos cinco años desde 2019 hasta 2024 y los criterios de exclusión abarcaron: revisiones sistemáticas, cartas al autor, meta-análisis, tesis y artículos publicados hace más de cinco años. Tras la búsqueda inicial, se identificaron y revisaron los artículos duplicados, procediendo a su eliminación. Los estudios que se seleccionaron cumplían con todos los requisitos necesarios mencionados anteriormente; al final se seleccionaron quince artículos los cuales se encontraban dentro de los parámetros necesarios, proporcionando una base sólida y relevante para el análisis estadístico e interpretación.

Este proceso sistemático asegura que la revisión se basa en información actualizada y disponible, garantizando validez, confundibilidad de las conclusiones derivadas. Gracias a esta metodología se permite una evaluación crítica y detallada de las novedades tecnológicas dentro de la RH física en PAC que formen parte del grupo que las necesita, así contribuyendo significativamente al campo del tratamiento (TTO) físico.

Fig. 1: Diagrama de Flujo PRISMA.



Fuente: Duran D, Cabrera J, Correa F

Resultados

En el caso de una RH de rodilla se ha propuesto un EXO como una alternativa económica en la que se fabricó de un sujetador de fémur y la tibia-peroné que ayudará al soporte de las mismas, en esta también se comprobó que las rutinas se cumplieron al 100% en todos los aspectos como lo son repeticiones, tiempo y calidad del ejercicio; la construcción este prototipo está destinado a la flexión de la rodilla en posición semi acostada o sentada y se dice que se debe integrar terapias con calor y electrodos al momento de RH para que así poco a poco el individuo se acostumbre y pueda tener una mejor calidad de vida (1).

En cuanto al desarrollo del EXO para ACV, se basa en un robot con articulaciones de cadera, rodilla, brazos, manos y pies las cuales son impulsadas por un motor, permitiendo así simular movimientos que una PERS sana realiza diariamente. Su objetivo tiene como finalidad promover la RH de personas que han perdido la movilidad de sus extremidades tanto inferiores como superiores, con este exoesqueleto se puede evaluar el grado de deterioro del incidente para así proceder a una serie de sesiones médicas, con el fin de estimular actividades móviles como el caminar, habilidad de equilibrio, capacidad cognitiva y en sí el estilo de vida de la PERS. Este EXO se utiliza de 3 a 4 sesiones de 45 minutos durante la semana, con el

fin de tener un progreso de manera continua y segura (2).

También existe una gran gama de dispositivos que facilitan la funcionalidad al momento de adaptación del PAC con este artefacto; por ejemplo, se desarrolló un producto llamado EXO HANDS que ayuda a la movilidad del miembro afecto y la rehabilitación del mismo. Una limitación de este es que no hay muchas empresas que fabriquen este aparato, pero fuera de eso esta es una gran alternativa para la recuperación eficaz, ágil, menor esfuerzo físico y prevención de posibles complicaciones que podría presentar el PAC. Gracias a esta nueva tecnología se ha ido dejando atrás la RH tradicional que era mucho más lenta y desgastante para el involucrado; en la que se observa inflamación, neuropatías e incluso limitaciones funcionales al final del tratamiento (4).

En el caso de un exoesqueleto para la mano luego de un accidente cerebrovascular, en donde se prioriza la necesidad de movimiento como extensión, coordinación de movimientos para la RH de articulaciones y de la muñeca con la extensión de dedos; el dispositivo es portátil y liviano. Los resultados dieron que el dispositivo era fácil de usar y seguro, también se evaluó la actividad muscular residual, el rango de movimiento, velocidad, y soporte en donde cada sesión tenía una durabilidad de 45 minutos en donde los individuos toman cinco minutos de descanso para evitar la fatiga y el dolor por exceso de fuerza. Al final del estudio se encontró cambios neurofisiológicos y clínicos en los PAC en donde mejoró la capacidad sensoriomotora y funcionalidad mediante la neuro plasticidad (5).

La tecnología ha evolucionado de tal manera que se ha implementado a la robótica combinada a la estimulación eléctrica con el fin brindar una opción de vida a personas que han sufrido accidente cerebrovascular. Estudios demuestran que con este TTO se puede reintegrar y activar nuevamente circuitos sensoriales los cuales forman parte del control motor y sensitivo de una PAC, esto debido a que al generar movimientos que estimulan los músculos afectados, se activa el centro motor cortical, este centro se encarga de los movimientos voluntarios, por lo tanto, está TP promueve una

serie de cambios neuronales o una reorganización de las redes motoras (6).

En el tratamiento de la marcha asistida por robot se evaluó el tipo de marcha que tenía cada PAC con su respectiva condición, para esta investigación se utilizó el “FUNCTIONAL GAIT ASSESSMET FGA”, con este se evaluó la capacidad del individuo para mantenerse en equilibrio al mismo instante que realizaba actividades de funcionalidad, este fue aplicado en PAC con lesiones en la médula espinal, ACV y otros con problemas ortopédicos. Con esta colaboración de los distintos dispositivos se beneficiará la persona en la parte de neuro plasticidad y el aprendizaje motor debido a la continua práctica de los ejercicios, también se demostró que mejora el equilibrio y marcha, y que cuando existe la falta de éste es por el miedo a caer, pero con la práctica los PAC con ACV lograron afrontar el problema y tener avances significativos (7).

Una prótesis de codo denominada HAL (extremidad asistida híbrida mono articular) es un robot que simula movimientos de flexión extensión, es utilizado en pacientes con secuelas motoras tras un accidente cerebrovascular. Su funcionamiento se da por diferentes electrodos los cuales se colocan en los músculos de la extremidad superior, mismos que al momento que el PAC tiene la idea o intención de realizar un movimiento, estos electrodos se encargan de enviar señales desde la corteza cerebral a través de la médula y diferentes tractos y vías nerviosas hasta llegar a la zona muscular para provocar su movimiento. HAL replica estos movimientos varias veces durante una sesión permitiendo así una recuperación lenta pero prometedora (8).

Al momento de comparar las funciones se notó que los EXO ayudan como TP alternativa, pero también contribuyen con la evaluación de las capacidades sensoriomotoras; mediante esquemas se puede medir la funcionalidad de la RH con el robot, el PAC y también sin el uso del dispositivo, en este esquema se debe valorar la reproducibilidad, transferibilidad y viabilidad; este debe complementarse con la parte clínica para la toma de decisiones de acuerdo a cada caso. La limitación de este esquema es que está enfocado en las extremidades superiores excepto la mano por lo que se debe revisar los resultados que arroje y por

último se debe verificar la experiencia del PAC para posibles mejoras del sistema (9).

En el caso de RH por motivación mediante juegos multijugadores, se llegó a la conclusión de que el TTO virtual en personas con ACV es una excelente manera de motivar a la PERS mediante ejercicios; se dice que un recuerdo importante es la interacción social ya que aumenta la motivación en las RH de la parte motora entre los pacientes creando así seguridad en los individuos en recuperación. Mediante apartados fisiológicos se culmina que el estado afectivo y cognitivo del PAC se necesita para la adaptación del producto a la PERS que lo utiliza (10).

Últimamente se realizan estudios pilotos sobre la implementación de TTO robótica no supervisada como métodos de RH ante un accidente cerebrovascular. Profesionales de la salud comentan que mientras más alta, constante y repetitiva sea el TTO, mejores resultados se pueden llegar a tener en estos pacientes. Si bien existe personal encargado de estas terapias, muchas veces los recursos tanto profesionales como del PAC limitan una TP adecuada convencional. La TP asistida por robots puede llegar a ser una solución para estas ocasiones, ya que se puede incrementar el trabajo y la cantidad de recuperación realizadas por día. Se presenta un robot llamado ReHapticKnob, un dispositivo creado para la RH motora y sensitiva de mano y antebrazo, el invento destaca la capacidad autónoma de supervisión al PAC, además busca demostrar su viabilidad y el efecto terapéutico que puede ocasionar en una PERS que perdió movilidad en sus extremidades superiores, además busca establecer este enfoque para centros de RH clínicos e incluso hogareños (11).

Para auxiliar a pacientes con ictus y daño en la médula espinal se creó un sistema llamado “EXOESQUELETO EXO-H3” el mismo que brinda una amplia planificación para el aprendizaje por refuerzo para potenciar la mejoría de la marcha; el objetivo de este modelo es que el usuario tenga mayor libertad al momento desmovilizarse y así tener control voluntario reforzando así su estabilidad y equilibrio; al igual que otros métodos este fomenta la neuro plasticidad mejorando así las deficiencias neurológicas (12).

También, se creó un dispositivo llamado “Rubidium” que cuenta con 2 tipos de campos de fuerza, el de forma de túnel brinda guía al usuario a continuar de una manera rectilínea y el que es con extremos cerrados evita que se exceda del inicio y final marcado; este brinda rehabilitación al miembro superior al momento de reducir errores de movimiento gracias a los campos de fuerza que proporcionan precisión y control sobre este (13).

Al momento de RH en pacientes con ACV tenemos otro dispositivo, que en este caso está dirigido hacia el soporte del antebrazo, por medio de terapia centrada al codo que soporta las cargas indispensables para llevar a cabo la flexión-extensión del codo; los beneficios de este artefacto es la accesibilidad por los costos, la personalización dirigida a las necesidades del usuario, resistencia y portabilidad que este maneja (14).

Recientemente se propone a la realidad virtual como otra manera de mejorar las secuelas motor sensitivas de un accidente cerebrovascular. El sistema de observación acción, una nueva tecnología, plantea sesiones donde el paciente observará una acción realizada por un robot para posteriormente intentar imitar la acción, este sistema guarda información obtenida de las señales neuronales del paciente e interpreta cómo se encuentra su sistema nervioso, además de que con el tiempo estas sesiones terapéuticas ayudan a los pacientes a mejorar su motricidad (15).

Discusión

La transformación y el crecimiento tecnológico dentro del área médica ha permitido conocer posibilidades y avances brindando una mejor calidad de vida a pacientes quienes requieren de la misma, tal es el caso de los EXO, dispositivos que tienen como objetivo otorgar una mejor calidad de vida a pacientes que padezcan de algún tipo de limitación o incapacidad ya sea de nacimiento o adquirida y que representen un perjuicio en el día a día de este grupo de PERS, como menciona Albán et al. (1), quien menciona que los EXO de miembros inferiores son los de mayor importancia y servicio puesto que tienen como principio fundamental mejorar las capacidades del ser humano de desempeñar sus funciones normales como es el caso del EXO de rodilla que otorgan al

usuario una mejoría en la RH de la marcha, ya que otorga al PAC un aumento de la fuerza, velocidad y resistencia en el desempeño de sus actividades. Louie et al. (2) respalda la importancia de este tipo de EXO centrándose en la adaptabilidad de los programas de RH en PERS que sufrieron ACV y su capacidad funcional como la coordinación, alteraciones de la sensación y especialmente capacidades motoras como la caminata independiente se vieron altamente afectadas. Según Romero et al. (4), los EXO también tienen efectividad en procesos de recuperación en miembros superiores pues presentó mediante una investigación un camino prometedor hacia la recuperación eficiente y veloz en pacientes que han sufrido lesiones o poseen una capacidad limitada en sus manos pues estas cumplen un papel importante en la anatomía del ser humano, con ayuda de fisioterapeutas y terapeutas ocupacionales emplearon tratamientos específicos gracias a la estructura robótica y la ingeniería biomecánica con los que son elaborados pues estos poseen elementos importantes como sensores avanzados de movimiento, manejo de inteligencia artificial mediante programas de realidad virtual e interfaces cerebrales que permitan conectar con prótesis y tener un mayor dominio sobre estas.

Por otro lado, Singh et al. (5), realizó un estudio en pacientes con esta afectación el cual consistió en realizar intervenciones en pacientes aleatoriamente con 20 sesiones de 45 minutos usando terapéutica robótica, durante 5 días cada semana con la intención de evaluar los beneficios que aportan las terapias con EXO en la RH motora y funcional de los afectados quienes mostraron mejoras significativas en su proceso de adaptación creando adaptaciones y excitabilidad cortical.

Coscia et al. (6) posee un criterio diferente, si bien las prótesis y EXO están diseñados con el propósito de mejorar la calidad vital, refiere que el costo de estos aparatos es excesivo y no toda la población tiene la facultad de poder adquirir uno de estos aparatos, pues estos mecanismos y componentes representan un amplio costo de producción y para los sistemas de salud no resultan solventes, además de esto los costos de procesos de evolución y adaptación son complejos y demanda la intervención de varias profesiones del área de la salud lo cual perjudica e inhabilita a su acceso a poblaciones de recursos limitantes. Por el

contrario, Kayabinar et al. (7), planteó un estudio en 30 pacientes con discapacidad entre 40 y 65 años con un nivel menor a 3 según la clasificación de deambulación funcional reflejaron un gran aprovechamiento al momento de desempeñar sus funciones en la vida cotidiana respaldando el criterio del costo-beneficio que aportan estas evoluciones médicas, además, el uso de EXO puede devolver funciones y habilidades a este grupo de PERS permitiéndoles así tener acceso a trabajos o actividades que faciliten el pago y coste de estos. En el caso de Doi et al. (8) Indaga sobre los beneficios que tiene el entrenamiento de potencia el apoyo en el aumento de la fuerza muscular y permite compensar y mejorar el uso y manejo de las prótesis para que estos puedan adaptarse y adquirir movilidad y destrezas en el uso. Longatelli et. al (9), abarcan un criterio importante que es la neurorrehabilitación pues es el sistema que controla todas las funciones, rama de la salud que busca erradicar los trastornos neurológicos para proporcionar destrezas motoras a favor del rendimiento, es un aspecto importante a considerar, pues la senectud poblacional y el aumento de la incidencia de patologías cerebrovasculares ocasionan daño cerebral que eleva la probabilidad de desarrollar alguna discapacidad y limitación como mencionan Catalán et al. (10), para determinar el efecto que tienen estas afecciones en el diario vivir de las PERS es necesario identificar la viabilidad de la amplia gama de alternativas que existen hoy en día para manejar la situación de vida de estas PERS buscando la facilidad de acceso a terapias asistidas e individualizadas como refieren Devittori et al. (11) cada PAC tiene particularidades y necesidades diferentes en su proceso de mejoría y adaptación a condiciones nuevas en el momento de adquirir una incapacidad por diversas causas por lo que sus procesos deberán ser adaptados y evaluada su evolución.

Conclusiones

En el territorio médico y terapéutico, los EXO representan una innovación revolucionaria, proporcionando soluciones benéficas para otorgar una mejor calidad de vida de aquellos que padecen discapacidades físicas. La presente revisión sistemática realizada destaca que estos dispositivos pueden proporcionar mejoras significativas en la movilidad, reducir la fatiga muscular y favorecer la

recuperación funcional en pacientes que han sufrido ACV o traumatismos que afectan el funcionamiento fisiológico normal, la aplicación de los EXO en la rehabilitación ha demostrado ser valiosa no solo para la recuperación física, sino también para el bienestar emocional y psicosocial de los usuarios dándoles una segunda oportunidad de tener una vida normal, estos dispositivos ayudan a las personas a sentirse más independientes y aumentar la autoestima al permitirles llevar fuera tareas diarias y relacionadas con el trabajo. Los exoesqueletos cuentan con características innovadoras como sensores de movimiento, interfaces cerebrales y estimulación eléctrica, eso que mejora su eficacia en la rehabilitación neuromotora. A pesar de ello, los estudios han demostrado que el costo-beneficio de los exoesqueletos puede ser favorable a largo plazo, al mejorar significativamente la autonomía de los pacientes.

En el área de la recuperación de miembros superiores, los exoesqueletos han mostrado ser eficaces en restablecer funciones motoras fundamentales, tales como la extensión y flexión de brazos, muñecas y dedos, esto lo cual posibilita a los pacientes la realización de actividades diarias muy fácilmente. Por lo tanto, el diseño antropomórfico de los exoesqueletos para miembros inferiores facilita la movilidad y previene la aparición de enfermedades secundarias asociadas con la inmovilidad. Los avances en robótica médica, junto con la estimulación eléctrica y la terapia virtual, presentan nuevas oportunidades para una recuperación menos exigente y más rápida; estos han emergido como una innovadora herramienta en la rehabilitación de pacientes con discapacidades físicas, especialmente para aquellos que han padecido ACV o traumatismos que afectan su movilidad. La revisión sistemática muestra que los EXO ofrecen mejoras significativas en la movilidad, reducen la fatiga muscular y favorecen la recuperación funcional. Además de sus beneficios físicos, estos dispositivos tienen un impacto positivo en el bienestar emocional y psicosocial de los usuarios, potenciando su independencia y autoestima. Los EXO para miembros superiores son efectivos en la restauración de funciones motoras cruciales, como la extensión y flexión de brazos, muñecas y dedos, lo que facilita la realización de tareas diarias. De

igual forma, los EXO para miembros inferiores han mejorado la movilidad y prevenido problemas de salud relacionados con la inmovilidad, representando una alternativa eficaz frente a métodos de rehabilitación convencionales. Los avances en robótica médica, junto con la incorporación de estimulación eléctrica y terapia virtual, ofrecen nuevas perspectivas para una recuperación más eficiente y menos demandante. Aunque los costos pueden ser altos, los beneficios a largo plazo en términos de autonomía y calidad de vida justifican la inversión. En conclusión, los EXO están transformando la rehabilitación al proporcionar soluciones innovadoras que mejoran tanto la capacidad física como el bienestar general de los pacientes.

Como recomendaciones para garantizar la eficacia y viabilidad de los EXO, es esencial llevar a cabo evaluaciones continuas del costo-beneficio a largo plazo, lo que permitirá una justificación sólida de su inversión tanto para las instituciones de salud como para los pacientes. Además, es crucial reducir los costos y aumentar la accesibilidad de estos dispositivos, así como personalizarlos para satisfacer las necesidades individuales de cada usuario; la investigación debe seguir avanzando en nuevas tecnologías y técnicas, como la estimulación eléctrica y la realidad virtual, para potenciar los beneficios terapéuticos de los EXO. También es fundamental capacitar adecuadamente a los profesionales de la salud en el uso de estos dispositivos, abarcando aspectos tanto técnicos como clínicos para una implementación efectiva. Un sistema de monitoreo continuo debe ser establecido para evaluar la efectividad de los EXO y ajustar los tratamientos según las respuestas individuales de los pacientes, mejorando así los resultados de la rehabilitación. Además, se debe promover la participación activa de los pacientes en su terapia, utilizando los EXO como herramientas complementarias a otras terapias, lo que puede aumentar su motivación y compromiso. Finalmente, fomentar la colaboración multidisciplinaria entre ingenieros, terapeutas ocupacionales, fisioterapeutas y otros profesionales de la salud es esencial para desarrollar y perfeccionar los EXO, abordando de manera integral las diversas necesidades de los pacientes.

Contribución de los autores

León M, FM, Durán O, DL, Cabrera D. JJ, León P, CF, Correa Q. RF: Visión y diseño. Recolección de datos, revisión bibliográfica, escritura y exploración del artículo con lectura y aceptación del documento final.

Información del autor (s)

León Martínez Fernando Mauricio, Durán Ortíz Doménica Lizbeth, Cabrera Delgado Juan José, Correa Quezada Romel Francisco: Facultad de Medicina de la Universidad Católica de Cuenca - Ecuador.

Disponibilidad de datos

Los datos fueron recolectados de bases de datos y bibliotecas virtuales.

Declaración de intereses

Los autores no reportan conflicto de intereses.

Autorización de publicación

Los autores autorizan la publicación de este texto en la revista *Mediciencias UTA*

Referencias.

1. Albán-Galárraga MJ, Jaque-Puca DG, Muyulema Allaica JC, Coque-Patiño CG. Desarrollo y evaluación de un exoesqueleto de rodilla: Innovación terapéutica para rehabilitación efectiva y accesible. *Technology Rain Journal* [Internet]. el 4 de marzo de 2024 [citado el 25 de junio de 2024];3(1). Disponible en: <https://technologyrain.com.ar/index.php/trj/article/view/28>

2. Louie DR, Mortenson WB, Durocher M, Teasell R, Yao J, Eng JJ. Exoskeleton for post-stroke recovery of ambulation (ExStRA): study protocol for a mixed-methods study investigating the efficacy and acceptance of an exoskeleton-based physical therapy program during stroke inpatient rehabilitation. *BMC Neurol* [Internet]. el 28 de diciembre de 2020 [citado el 25 de junio de 2024];20(1):35. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31992219/>

3. ONU. Discapacidad [Internet]. 2023 [citado el 25 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>

4. Rosario Magdalena Romero Castro, Gema Monserrate Conforme Cedeño, Jhon Jairo Silva Gorozabel, Carmen Argentina Álvarez Vásquez. Tecnologías digitales innovadoras aplicadas al desarrollo de los exoesqueletos de rehabilitación de mano. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas* [Internet]. el 18 de septiembre de 2023 [citado el 25 de junio de 2024];16(9). Disponible en: <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/1436/1176>

5. Singh N, Saini M, Kumar N, Srivastava MVP, Mehndiratta A. Evidence of neuroplasticity with robotic hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* [Internet]. el 6 de mayo de 2021 [citado el 25 de junio de 2024];18(1):76. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33957937/>

6. Coscia M, Wessel MJ, Chaudary U, Millán J del R, Micera S, Guggisberg A, et al. Neurotechnology-aided interventions for upper limb motor rehabilitation in severe chronic stroke. *Brain* [Internet]. el 1 de agosto de 2019 [citado el 25 de junio de 2024];142(8):2182–97. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31257411/>

7. KAYABINAR B, ALEMDAROĞLU-GÜRBÜZ İ, YILMAZ Ö. The effects of virtual reality augmented robot-assisted gait training on dual-task performance and functional measures in chronic stroke: a randomized controlled single-blind trial. *Eur J Phys Rehabil Med* [Internet]. mayo de 2021 [citado el 25 de junio de 2024];57(2). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33541040/>

8. Doi K, Yii Chia DS, Hattori Y, Sakamoto S. Virtual Rehabilitation of Elbow Flexion Following Nerve Transfer Reconstruction for Brachial Plexus Injuries Using the Single-Joint Hybrid Assisted Limb. *J Hand Surg Glob Online* [Internet]. marzo de 2022 [citado el 25 de junio de 2024];4(2):97–102. Disponible en: [https://www.jhsgo.org/article/S2589-5141\(21\)00132-8/fulltext](https://www.jhsgo.org/article/S2589-5141(21)00132-8/fulltext)

9. Longatelli V, Torricelli D, Tornero J, Pedrocchi A, Molteni F, Pons JL, et al. A unified scheme for the benchmarking of upper limb functions in neurological disorders. *J Neuroeng Rehabil* [Internet]. el 27 de septiembre de 2022 [citado el 25 de junio de 2024];19(1):102. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36167552/>
10. Catalán JM, Blanco-Ivorra A, García-Pérez J V., Vales Y, Martínez-Pascual D, Ezquerro S, et al. Patients' physiological reactions to competitive rehabilitation therapies assisted by robotic devices. *J Neuroeng Rehabil* [Internet]. el 11 de abril de 2023 [citado el 25 de junio de 2024];20(1):41. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37041622/>
11. Devittori G, Dinacci D, Romiti D, Califfi A, Petrillo C, Rossi P, et al. Unsupervised robot-assisted rehabilitation after stroke: feasibility, effect on therapy dose, and user experience. *J Neuroeng Rehabil* [Internet]. el 9 de abril de 2024 [citado el 25 de junio de 2024];21(1):52. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12984-024-01347-4#citeas>
12. Ramos-Rojas J, Lora-Millán JS, Castano JA, Carballeira J, Fernández PR, Borromeo S. Diseño conceptual de un robot de rehabilitación de la marcha pseudoestacionario. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial* [Internet]. el 5 de junio de 2024 [citado el 25 de junio de 2024]; Disponible en: <https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/20732/16660>
13. García Pérez JV, Blanco A, Catalán Orts JM, Ezquerro S, Álvarez-Pastor J, Arnau-Papí J, et al. Diseño e implementación de algoritmos de control de fuerza para un robot de rehabilitación de miembro superior. *XLII JORNADAS DE AUTOMÁTICA : LIBRO DE ACTAS* [Internet]. el 23 de agosto de 2021 [citado el 25 de junio de 2024];515–20. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/28384>
14. Leal Palomares Rommel Arel. Diseño mecánico y construcción de soporte para antebrazo de un robot para rehabilitación de codo utilizando manufactura FDM. *La Mecatrónica en México* [Internet]. mayo de 2021 [citado el 25 de junio de 2024];10(2):61–78. Disponible en: <https://www.mecamex.net/revistas/LMEM/revistas/LMEM-V10-N02-02.pdf>
15. Errante A, Saviola D, Cantoni M, Iannuzzelli K, Ziccarelli S, Togni F, et al. Effectiveness of action observation therapy based on virtual reality technology in the motor rehabilitation of paretic stroke patients: a randomized clinical trial. *BMC Neurol* [Internet]. el 22 de diciembre de 2022 [citado el 25 de junio de 2024];22(1):109. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35317736/>