



Intervenciones de los dispositivos robóticos de mano en la rehabilitación motora del accidente cerebrovascular.

Interventions of robotic handheld devices in motor rehabilitation of stroke.

Marcos Martínez Pino | Terapeuta ocupacional | marcospino75@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue explorar, desde la evidencia científica actual, las intervenciones y la eficacia del uso de dispositivos robóticos en la rehabilitación motora de la mano en pacientes que sufrieron un accidente cerebrovascular.

Se han revisado las aplicaciones terapéuticas que ofrecen los estudios de dispositivos exoesqueleto de mano en la literatura, valorando las características técnicas y sus aplicaciones en el tratamiento rehabilitador. Existen diferentes dispositivos exoesqueleto orientados a la rehabilitación funcional del miembro superior. Algunos estudios apuntan que estos dispositivos han demostrado tener la misma efectividad que la terapia convencional en las mismas condiciones de tiempo e intensidad de tratamiento rehabilitador.

La enfermedad cerebrovascular o ictus representa una de las primeras causas de muerte e invalidez en los países desarrollados. En las últimas décadas están surgiendo en el ámbito de la neurorrehabilitación una serie de nuevas tecnologías como son la terapia asistida con dispositivos robóticos. Al parecer, la terapia con dispositivos exoesqueleto, en pacientes agudos postictus, puede mejorar la recuperación del balance muscular de los flexores de muñeca y la destreza de la mano afectada. Este trabajo de revisión ha encontrado que existe evidencia moderada sobre el efecto de las intervenciones de los dispositivos robóticos de mano en su recuperación motora. No obstante, se necesitan más estudios longitudinales para poder implementar en la práctica clínica esta nueva tecnología de forma habitual.

DECS: Rehabilitación de un accidente cerebrovascular; trastornos motores, miembro superior; dedos, robot, dispositivo exoesqueleto.

Palabras clave: Rehabilitación, accidente cerebrovascular; trastornos motores, mano, dedos, robot.

Recibido: 4 octubre 2017
Aceptado: 23 enero 2018
Publicado: 1 mayo 2018

ABSTRACT

The objective of this work was to explore, from the current scientific evidence, the interventions and the efficacy of robotic device use in the motor rehabilitation of the hand in patients who have suffered a stroke.

We have reviewed the therapeutic applications offered by the exoskeleton handheld studies in the literature, assessing the technical characteristics and their applications in rehabilitation treatment. There are different exoskeleton devices oriented to the functional rehabilitation of the upper limb. Some studies suggest that these devices have been shown to have the same effectiveness as conventional therapy under the same conditions of time and intensity of rehabilitative treatment.

Cerebrovascular disease or stroke represents one of the leading causes of death and disability in developed countries. In the last decades, a number of new technologies, such as assisted therapy with robotic devices, are emerging in the field of neurorehabilitation. Apparently, exoskeletal device therapy, in acute post-stroke patients, may improve recovery of the muscle balance of the wrist flexors and the dexterity of the affected hand. This review work has found that there is moderate evidence on the effect of interventions of handheld robotic devices on their motor recovery. However, more longitudinal studies are needed to be able to implement this new technology in clinical practice in the usual way.

MESH: Stroke rehabilitation, motor disorders, upper limb, fingers, robotics, exoskeleton device.

Keywords: Rehabilitation, stroke, motor disorders, hand, fingers, robotics.

INTRODUCCIÓN

El ictus, también conocido como enfermedad cerebrovascular se considera una de las enfermedades que provoca mayor número de incapacidades a nivel mundial. Según los estudios, a los seis meses del ACV, más del 25% de los afectados ha fallecido y el daño cerebral en las personas que sobreviven puede ocasionar problemas motores, cognitivos o conductuales (1). El ictus o accidente cerebrovascular (ACV) consume alrededor del 10% del presupuesto sanitario en países desarrollados (2). Según la pirámide poblacional, en los países europeos se está produciendo un aumento progresivo del envejecimiento de la población.

Cabe señalar que la mayor parte de los accidentes cerebrovasculares se producen en personas mayores de 65 años, con lo cual parece previsible un aumento de su incidencia en la próxima década (3). Entre las principales secuelas producidas por el ictus, una de las más comunes es la limitación en la funcionalidad del miembro superior. Aproximadamente

menos del 20% de los pacientes que han sufrido un ictus, transcurrido medio año, logran recuperarse completamente y volver al nivel funcional anterior antes de sufrir el ictus (4).

La neurorrehabilitación se define como el conjunto de técnicas cuya finalidad es recuperar las funciones neurológicas afectas como consecuencia de un daño del sistema nervioso. En la actualidad están surgiendo en el área de la neurorrehabilitación una serie de nuevas tecnologías como son la estimulación magnética transcraneal, la terapia asistida con dispositivos robóticos o la estimulación eléctrica funcional. Según las investigaciones, la terapia con dispositivos exoesqueleto, en pacientes agudos post-ictus, puede mejorar la recuperación funcional de la mano afectada. Estas técnicas ya se están aplicando en la realización de tareas rehabilitadoras (5).

Los resultados más favorables en rehabilitación de miembro superior, con dispositivos robóticos, se han conseguido en la rehabilitación motora del hombro. En este sentido cabe señalar que hay menos estudios sobre su aplicación en rehabilitación motora de la mano (6).

Asimismo, al parecer, varias investigaciones han comprobado que el uso de dispositivos robóticos, en pacientes agudos post ictus, mejora el movimiento y la fuerza de la mano afectada (7). En la actualidad, la robótica emerge como una herramienta de apoyo en la rehabilitación funcional. Una de las aplicaciones más importantes del dispositivo exoesqueleto de miembro superior es lograr que el paciente que lo utilice pueda rehabilitar la prensión manual. Además debe permitir la apertura, el cierre de la mano y ejecutar estas tareas de una manera natural. Para acreditar la funcionalidad del dispositivo exoesqueleto en la rehabilitación motora, es necesario comprobar los beneficios en la rehabilitación y cómo afectan a la mejora de la independencia en la ejecución de las actividades diarias de estos pacientes (8). Según las investigaciones, el uso de exoesqueletos en rehabilitación tiene aplicaciones fundamentales en los movimientos activos y pasivos del paciente (9-11).

Un dispositivo exoesqueleto es un sistema

Búsqueda 1: Medline (PubMed); 81 resultados
Ecuación de búsqueda: (((((stroke rehabilitation) AND motor disorders) AND exoskeleton device OR robot)) AND upper limb AND fingers). Selección de 18 estudios
Búsqueda 2: Science direct; 30 resultados (1 revisión)
Search results: (((((stroke rehabilitation) AND motor disorders) AND exoskeleton device OR robot)) AND upper limb AND fingers). Selección de 8 estudios
Búsqueda 3: IEEE Xplore; 291 resultados (3 revisiones)
((((stroke rehabilitation) AND motor disorders) AND exoskeleton device) OR robot) AND upper limb) AND fingers). Selección de 4 estudios
Búsqueda 4: BRAIN of journal of neurology; 3 resultados (1 revisión).
(stroke rehabilitation AND robot AND upper limb AND fingers). Selección de 3 estudios

Fig. 1: diagrama de flujo de identificación de estudios.

que consigue integrar diferentes componentes mecánicos con una parte del organismo para compensar y mejorar el control motor. Cuenta con actuadores que generan o reproducen los movimientos del propio cuerpo. De esta forma actúa posibilitando que el segmento corporal afectado pueda desarrollar diferentes actividades motoras (12). Por otro lado, existen diferentes categorías de dispositivos exoesqueletos. El desarrollo del presente trabajo se basa en los dispositivos robóticos enfocados en la mano, y concretamente en la finalidad que se le da en la rehabilitación motora.

El objetivo principal de este trabajo fue explorar, desde la evidencia científica actual, las intervenciones del uso de dispositivos robóticos en la rehabilitación motora de la mano en pacientes que sufrieron un accidente cerebrovascular. Como objetivo secundario, se planteó estudiar la eficiencia de estos dispositivos robóticos frente a las terapias convencionales.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se ha realizado con el formato de una revisión bibliográfica. Se realizó una búsqueda de información en diferentes bases de datos, entre las fechas del 20 al 29 de febrero de 2017, de los estudios sobre el uso de dispositivos exoesqueletos y robóticos de miembro superior. Con la idea de dar respuesta al objetivo de esta revisión se hizo una revisión de la literatura en las siguientes bases de datos; Medline, Brain of journal of neurology, IEEE Xplore y Science Direct. En primer lugar se analizaron preferentemente los artículos de revisión, los estudios de ensayos clínicos aleatorizados y de casos.

Estrategia de búsqueda

En primer lugar, se comprobó la existencia de los términos de búsqueda (descriptores) en el tesoro de Medline, a través del buscador PubMed. Los criterios de inclusión fueron; artículos publicados en los idiomas de español e inglés, sin límite temporal y estudios con aplicación clínica. Los criterios de exclusión fueron; estu-

dios experimentales de prototipos y artículos sin posibilidad de acceso a texto completo. También se realizó una búsqueda paralela en el motor de búsqueda Google Scholar. Asimismo, se visitaron varias páginas web con contenido específico sobre el uso y las aplicaciones de dispositivos exoesqueletos en neurorrehabilitación de mano, para complementar la información de determinados dispositivos robóticos.

El vocabulario que se ha empleado en la búsqueda bibliográfica se indica a continuación: stroke rehabilitation, motor disorders, upper limb, fingers, robotics, exoskeleton device. Asimismo se realizaron combinaciones de los mismos términos. Para conseguir los objetivos planteados en esta revisión se han planteado las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son las intervenciones del dispositivo robótico de mano y dedos, en la rehabilitación motora, en pacientes con afectación motora tras haber sufrido un accidente cerebrovascular? ¿Es eficaz esta nueva tecnología? Se realizaron diferentes ecuaciones de búsqueda según la base de datos. Las diferentes combinaciones fueron truncadas con los booleanos AND, OR (ver figura 1).

Selección de estudios

En primer lugar, se analizaron preferentemente los artículos de revisión, los estudios de ensayos clínicos y de casos, realizados en la rehabilitación motora de mano en pacientes post ictus. En la selección de los estudios se ha tenido en cuenta el poder estadístico de los mismos. Cabe destacar, que en algunos de ellos, el tamaño muestral es algo limitado pues todavía hoy en la neurorrehabilitación las terapias robóticas, dispositivos exoesqueleto y la realidad virtual se encuentran, en muchos casos, en una fase experimental. Tras la realización de la búsqueda bibliográfica se obtuvieron un total de 411 resultados. Después de la lectura del título y del resumen de todos los artículos seleccionados se excluyeron los artículos duplicados, con texto incompleto y los que no se ajustaban al objetivo del trabajo de tal forma que se redujeron los resultados a un total de 56 estudios. Una vez seleccionados los artículos se ha realizado la lectura crítica de los mismos siguiendo los criterios establecidos por el Programa de Habilidades en Lectura Crítica Español (CASPe). Se estableció una puntuación de 6/11 en la

selección de los artículos sobre su validez para esta revisión.

Se obtuvieron 81 artículos científicos en la base de datos Medline, de los que se seleccionaron 18 trabajos, de los cuales 2 eran revisiones. En la base de datos ScienceDirect se obtuvieron 30 resultados, de los que se seleccionaron 8 estudios que incluyen una revisión. De la base de datos IEEE Xplore se obtuvieron 291. Se seleccionaron 4 estudios relacionados con el objetivo principal. En la revista Brain of Journal of Neurology se obtuvieron 9 trabajos, de los que 3 estudios correspondían al objetivo de esta revisión. Como se comentó anteriormente, en el apartado de metodología se realizó paralelamente una búsqueda de estudios en el buscador académico Google Scholar con los mismos términos empleados en las otras 4 bases de datos. Se visitaron diversas páginas web para obtener más información sobre los dispositivos exoesqueleto de mano. También se estudiaron artículos de la bibliografía de los estudios seleccionados de la relación de resultados.

Para este trabajo de revisión se han seleccionado solo los estudios de dispositivos de exoesqueleto que se han empleado en la rehabilitación motora de la región distal del miembro superior, la mano y/o dedos. Se han excluido los estudios que no se aplican en la clínica y que no presentaban parámetros claros de aplicación de la rehabilitación motora de la mano como efector final.

En la página siguiente aparece una relación de los diferentes dispositivos robóticos que se emplean en la rehabilitación motora de pacientes con afectación motora de la mano y/o en los dedos (ver tabla 1). Se expone el tipo de robot exoesqueleto utilizado, el tipo de terapia, los movimientos que rehabilita, así como, la posición de trabajo y el ámbito de la tarea funcional que realiza.

RESULTADOS

Cabe señalar que la relación de los resultados a continuación descritos se ha realizado atendiendo al orden en el que se efectuaron las diferentes fases de la búsqueda bibliográfica señaladas en el apartado de la metodología.

En Lee S, Landers K, Park H. (13) se realiza un estudio sobre el deterioro funcional de la

mano entre los sobrevivientes de un accidente cerebrovascular. Los investigadores desarrollaron el sistema de Biomimetic Hand Exoskeleton Device (BiomHED). Este sistema robótico se constituía por exotendones que imitan la geometría de los tendones principales de la mano. Hicieron un ensayo con cuatro pacientes post ictus para comprobar la eficiencia del sistema. Los desplazamientos angulares de las articulaciones producidas por el exotendón fueron menores, pero no significativamente diferentes, que los de los sujetos sin alteraciones. El dispositivo mejoró la cinemática de la tarea de ejecución de la pinza digital.

En Kazemi H, et al. (14) se diseñó un ensayo clínico cuyo objetivo fue caracterizar la coordinación de agarre y torsión en mano de los sujetos normales y de post accidentes cerebrovasculares utilizando un robot de mano. En el ensayo los ocho sujetos control indicaron que la coordinación de agarre normal implicaba la modulación lineal de la fuerza de agarre con par de carga. En sus resultados obtuvieron una alta correlación entre el esfuerzo de torsión y la fuerza para agarrar el objeto con la mano. Estos resultados sugieren que el uso del dispositivo robótico puede ser una herramienta válida en la valoración de los problemas de coordinación y fuerza en la mano de pacientes que sufrieron un accidente cerebrovascular.

En Taheri H, et al (15) se describe el diseño y las pruebas preliminares de FINGER (Finger Individualizing Grasp Exercise Robot), un dispositivo robótico de mano para ayudar a la rehabilitación de los dedos después de una lesión neurológica en accidentes cerebrovasculares. El objetivo era hacer que FINGER fuera capaz de asistir en los movimientos de los dedos donde la precisión es importante. Los resultados demuestran la capacidad de FINGER para proporcionar niveles controlados de ayuda en los dedos durante un juego de ordenador, y para cuantificar la individualización de los dedos después del accidente cerebrovascular.

En Beekhuis J, et al (16) se describe el diseño y los resultados de un dispositivo de rehabilitación para la muñeca. El diseño ayuda a los movimientos dentro de casi toda la gama natural de movimiento. Las ventajas son la disminución de las fuerzas de interacción entre el usuario y el dispositivo. Además presenta una gama natural completa del movimiento en flexión/extensión,

Tabla 1: dispositivos exoesqueletos utilizados en rehabilitación motora de la mano y de los dedos

Nombre	Desarrollo del exoesqueleto	Referencia bibliográfica	Tipo de terapia	Articulaciones	Tareas funcionales	Observaciones
AMADEO TYROMOTION	Clínico	Tyromotion [acceso 2 Mar 2017]. Disponible en: http://www.tyromotion.com	Activa-asistida y pasiva	Muñeca: Flexo-extensión e inclinación lateral y medial	Presión manual en tareas.	Sedestación.
HWARD	Clínico	[Takahashi C et al, 2008]	Activo-asistida	Muñeca y dedos: Flexo-extensión de muñeca y dedos.	Presión manual en tareas.	Sedestación.
INMOTION HAND (MITMANUS)	Clínico	[Rodríguez L et al, 2014]	Pasiva. Activo-asistida. Activo-resistida	Flexo-extensión dedos y muñeca	Presión manual en tareas.	Sedestación.
REOGO	Clínico	Motorika [acceso 3 Mar 2017]. >Disponible en: http://www.motorika.com .	Activo. Pasivo. Activo-asistida	Hombro-codo-muñeca-mano	Presión manual en tarea de mano.	Sedestación.
SEAT	Clínico	[Bayón M et al, 2014]	Entrenamiento funcional	Hombro: flexo-extensión, abducción y aducción y Rotación. Codo: flexo-extensión y pronosupinación. Muñeca: flexoextensión. Agarre con la mano	Presión manual en tareas.	Sedestación.
ARMEOSPRING (TWREX)	Clínico	Hokoma [acceso 4Mar 2017]. Disponible en: https://www.hocoma.com/us/solutions/armeospring/	Pasiva Antigravitatoria	Hombro: flexo-extensión, Abducción-aducción y Rotación. Codo: Flexo-extensión, pronosupinación. Muñeca: flexo-extensión. Mano: presión.	Presión manual en tareas de miembro superior:	Sedestación.
HANDMENTOR	Clínico	Motusnova [acceso 4Mar 2017]. Disponible en http://motusnova.com/products/handmentor-pro/	Activo solo en la extensión.	Muñeca: flexo-extensión. Dedos: flexo-extensión.	No.	Sedestación.
RUTGERMASTER II	Clínico	[Schabowsky C et al, 2010]	Pasivo-asistida	Cuatro primeros dedos metacarpofalángica e interfalángicas: Flexo-extensión. Abducción y aducción en metacarpofalángicas.	Presión manual y diferenciación de dedos.	Sedestación.
T-WREX	Clínico	[Sánchez R] et al, 2006]	Activo-asistido antigravitatorio	Hombro: flexo-extensión, abducción,aducción y rotación. Codo: flexo-extensión, pronosupinación. Mano: presión.	Presión manual en tareas de miembro superior:	Sedestación y emplea realidad virtual.
ARMEO POWER (ARMIN III)	Clínico	[Rodríguez L. et al, 2014]	Pasivo. Activo-asistido. Activo-resistido. Antigravitatorio	Hombro: flexo-extensión, abducción, aducción, rotación. Codo: flexo-extensión. Pronosupinación. Muñeca: flexo-extensión. Mano: presión.	Presión manual en tareas de miembro superior:	Sedestación y emplea realidad virtual.
GENTLE/G	Clínico	[Loureiro RC et al, 2007]	Pasivo. Asistido. Activo. Corrección de Trayectoria	Hombro: flexo-extensión, abducción y aducción. Codo: Flexo-extensión. Mano-dedos: presión.	Presión manual en tareas de miembro superior:	Sedestación y emplea realidad virtual.



Fig. 2: guante robótico Gloreha de AEMEDI.

desviación radial/ulnar y pronación/supinación permitiendo a los pacientes realizar ejercicios durante el entrenamiento. Además, en este diseño la palma de la mano y los dedos permanecen libres para realizar actividades de agarre y la estructura abierta proporciona la conexión simple en la extremidad de los pacientes.

En Schabowsky C, et al (17) se presenta un estudio con el exoesqueleto de mano-robot (HEXORR). Este dispositivo fue diseñado para proporcionar una gama completa de movimiento, en todo el rango de movimiento (ROM), para todos los dedos de la mano. Se realizó un estudio piloto con 5 sujetos crónicos de accidente cerebrovascular para investigar la capacidad de movimientos de la mano. El estudio relacionó la eficacia del modo de asistencia de fuerza con el objetivo de aumentar el rango de movimiento (ROM) de los sujetos del estudio.

En Burton T, et al (18) se presenta un exoesqueleto de mano que incluye un mecanismo de cuatro barras diseñado para reproducir la oposición natural del pulgar y un mecanismo de polea de movimiento sincronizado para el movimiento coordinado de los dedos. Las simulaciones mostraron que el exoesqueleto era capaz de reproducir el movimiento complejo del pulgar para oponerse a los dedos durante los movimientos de realización de la pinza digital y del movimiento de oposición del pulgar respecto de los otros 4 dedos.

En Varalta V, et al (19) mostraron que el entrenamiento en extremidades superiores asistido por robots mejoró efectivamente la rehabilitación motora del brazo parético en pacientes que sufrieron un accidente cerebrovascular. Este estudio determinaba si la activación de la mano izquierda (contralateral) asistida por robot podría conducir a una mejora del movimiento. Se diseñó el programa de entrenamiento de la activación robótica de la mano izquierda con el guante Gloreha (ver figura 2). Los resultados se evaluaron mediante la prueba de cruce de línea y la prueba de Purdue. Todos los pacientes mostraron un mejor desempeño funcional con un incremento en el movimiento de la línea de cruce de la mano afectada. Los autores concluyeron que hay que tener precaución al interpretar los resultados, ya que las

respuestas a la intervención fueron variables y que se necesitan investigaciones a mayor escala para confirmar los resultados preliminares.

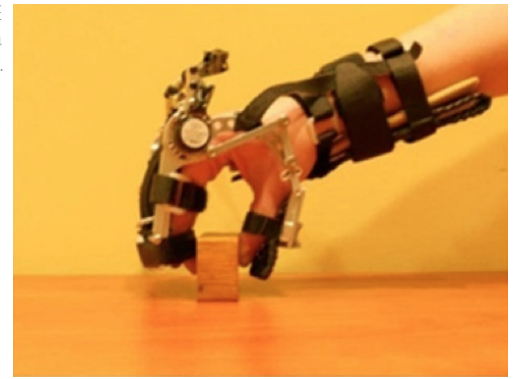
En Susanto E, et al (20)] se realiza un ensayo aleatorizado, con terapia de movimiento inducido por restricciones (CIMT) y por otro lado con dispositivo robótico. Propusieron el uso de un dispositivo robótico para ayudar a la mano y a los dedos en su funcionalidad. Se utilizaron como medidas de resultados el test de Wolf Motor Function (WMFT) y la escala de Fugl-Meyer Assessment (FMA). Un total de 19 pacientes post ictus completaron el entrenamiento de 20 sesiones. En sus resultados se encontraron mejoras significativas en las puntuaciones clínicas obtenidas en la reevaluación de los test, entre los pacientes que recibieron terapia robótica. Este estudio relacionaba la eficacia del dispositivo robótico en la rehabilitación de manos y dedos.

En Ockenfeld C, et al (21) se describe la aplicación de un exoesqueleto de mano robótica en el entrenamiento de habilidad manual en 2 pacientes con accidente cerebrovascular crónico. Los resultados mostraron que ambos pacientes mejoraron en la movilidad funcional de la mano, según la escala de evaluación de Fugl-Meyer (FM). Los pacientes mejoraron en la flexión y extensión de los dedos afectados después de 20 sesiones de entrenamiento. El trabajo de estos investigadores concluye indicando que se necesitan futuros ensayos controlados aleatorizados para demostrar su eficacia real.

En Li J, et al (22) se presenta un dispositivo de exoesqueleto para la rehabilitación manual (IHandRehab), cuyo objetivo es satisfacer los requisitos esenciales para los movimientos del pulgar e índice. El exoesqueleto para cada dedo tiene 4 grados de libertad, proporcionando un control independiente para todas las articulaciones de los dedos. El documento también discute cuestiones importantes cuando el dispositivo es utilizado por diferentes pacientes, incluyendo el rango ajustable de longitud de las falanges (ROPL).

Los datos recogidos experimentalmente muestran que el rango de movimiento (ROM) obtenido está cerca del rango fisiológico de una mano saludable, satisfaciendo así la necesidad de la rehabilitación motora de la mano afectada. En Hwang C, et al (23) se evaluó la rehabilitación motora de la mano asistida por un robot

Fig. 3: HandSOME exoesqueleto para rehabilitación.



en pacientes post ictus. Se diseñó un ensayo clínico aleatorizado en grupos paralelos. Los pacientes con pérdida sensorial severa, espasticidad, apraxia, afasia, deterioro de la conciencia o depresión fueron excluidos. Los pacientes se sometieron a evaluaciones de la función motora del brazo antes de la terapia y a las 2, 4 y 8 semanas después de iniciar el tratamiento. En comparación con la línea de base, los grupos mostraron resultados positivos en la prueba de Jebsen Taylor y en la escala Fugl Meyer. Los autores encontraron que en una rehabilitación de cuatro semanas utilizando el robot se mejoró la sincronización del movimiento de los dedos.

En Balasubramanian S, et al (24) se realiza un trabajo de revisión sobre la neurorrehabilitación asistida por robot en la extremidad superior. Esta revisión describe el estado de este nuevo enfoque terapéutico. Encontraron numerosos dispositivos robóticos para la función de la mano con varios niveles de complejidad y funcionalidad desarrollados en los últimos 10 años. Los autores encontraron evidencia de la eficacia de la intervención con terapias de dispositivos exoesqueleto en la recuperación motora de la mano. Cabe señalar que esta evidencia es preliminar aunque muy prometedora, y proporciona una fuerte justificación para investigaciones más sistemáticas en el futuro.

En Wolbrecht E, et al (25) se presenta el diseño cinemático de un exoesqueleto de mano de un grado de libertad. El mecanismo robótico se colocaba en la parte posterior de la mano e incorporaba una interfaz de juego musical. El dispositivo robótico se centraba en el funcionamiento de la unidad funcional del movimiento de oposición del pulgar con los otros 4 dedos. El entrenamiento promovía que los usuarios practicasen el movimiento de la pinza digital y de la oposición del pulgar.

En Brokaw E, et al (26) el objetivo fue desarrollar un dispositivo pasivo y ligero para ayudar en la funcionalidad de la mano, en pacientes con afectación motora, durante el desempeño ocupacional de los pacientes. El dispositivo, HandSOME ayuda a abrir la mano del paciente usando una serie de cordones elásticos que aplican pares de extensión a las articulaciones de los dedos y compensa la hipertonia de los flexores (ver figura 3). Se describen el diseño y la calibración del equipo, así como pruebas funcionales y de usabilidad con sujetos con un



Fig. 4: Robotic sixth Finger, extra-dedo robótico de SIRSLab.

amplio rango de impedimentos de las manos. Entre los resultados de las pruebas iniciales con ocho sujetos con hipertonia flexora de los dedos, encontraron que el uso de HandSOME aumentó significativamente el rango de movimiento y la capacidad funcional de la mano afectada. En general, HandSOME se mostró como una herramienta de capacitación para facilitar la práctica repetitiva de tareas para mejorar la función de la mano en los pacientes post ictus.

En Rosati G, et al (27) se presenta el desarrollo y las pruebas clínicas de NeReBot un robot de tres grados de libertad para la rehabilitación de extremidad superior en pacientes post ictus. En comparación con otros robots de rehabilitación, NeReBot, ofrece las ventajas de una estructura mecánica de bajo costo, un tratamiento seguro, una alta aceptabilidad por parte del paciente y el ser fácilmente colocado a un lado de una cama de hospital o en una silla de ruedas. Estas características y los resultados alentadores de los primeros ensayos clínicos hacen del NeReBot un buen candidato para su implementación en las terapias rehabilitadoras. En sus resultados encontraron que los pacientes que recibieron terapia robótica, además de la terapia convencional, mostraron mayores reducciones en la discapacidad motora, en términos de la puntuación de la escala Fugl-Meyer y mejoras en las habilidades funcionales. Asimismo, según los investigadores no se produjeron efectos adversos y el enfoque robótico fue muy bien aceptado por los pacientes. De acuerdo con estos resultados, se llegó a la conclusión de que la terapia con NeReBot puede complementar eficazmente la rehabilitación estándar multidisciplinaria post ictus, ofreciendo nuevas estrategias terapéuticas para la rehabilitación neurológica.

En Jones C, et al (28) se partía de la premisa de que los dispositivos robóticos para la mano carecían de la capacidad de explorar completamente el espacio de posibles paradigmas de entrenamiento rehabilitador en el movimiento de los dedos. En particular, no podían proporcionar el control de los niveles de velocidad y par requeridos. Para llenar esta necesidad, desarrollaron el exoesqueleto de dedo accionado por cable (CAFE). Un exoesqueleto robótico de tres grados de libertad para el dedo índice. Este artículo presenta el diseño y el protocolo de desarrollo del CAFE,

con algunos resultados preliminares de pruebas de desempeño funcional en la mano afectada.

En Na Y, et al (29) se proporciona una descripción detallada del diseño de un sistema de tele-rehabilitación para el brazo y de la terapia de la mano después del accidente cerebrovascular. El sistema consiste en una biblioteca basada en una Web de pruebas, juegos de terapia y gráficos de progreso. Además puede usarse con una variedad de dispositivos de entrada, incluyendo un joystick de retroalimentación de fuerza capaz de asistir o resistir el movimiento de la mano. Se presentan datos del uso en el hogar por un sujeto crónico de accidente cerebrovascular que demuestran la viabilidad de usar el sistema para dirigir un programa de terapia, además de ayudar mecánicamente en el movimiento de la mano afectada.

En Salvietti G, et al (30) se realiza la propuesta del dispositivo Robotic Sixth Finger, que es un dispositivo articulado modular que puede adaptar la forma de la mano a la estructura del objeto agarrado (ver figura 4). Consiste en un dedo robótico que ayuda a la mano parética actuando como las dos partes de una pinza que sostiene un objeto. Se evaluó la viabilidad del abordaje con cuatro pacientes con ictus crónico realizando la prueba cualitativa del test de Frenchay Arm. Los autores concluyeron que la terapia de adición de un dedo robótico es un enfoque muy prometedor que puede mejorar significativamente la compensación funcional en la presión manual del paciente post ictus.

En Sheng B, et al (31) se realizó una evaluación sistemática de los dispositivos robóticos existentes de rehabilitación de extremidades superiores, y de sus resultados clínicos. La mayoría de los artículos estudiados fueron buscados en nueve bases de datos y en la Infraestructura del Conocimiento Nacional de China (CNKI) del año 1993 al 2015. Los dispositivos robóticos fueron categorizados como end-effectors (efectores finales), exoesqueletos y robots industriales. Se evaluaron un total de diez efectores finales, un exoesqueleto y un robot industrial en términos de sus características mecánicas, grados de libertad (DOF), modos de control soportados, aplicabilidad clínica y resultados. Los resultados de estos estudios mostraron que todos los participantes podían obtener ciertas mejoras en términos de rango de movimiento, fuerza y funcionalidad de la mano después del

entrenamiento. Sólo cuatro estudios apoyaron que la capacitación bilateral era mejor que la capacitación unilateral. Sin embargo, los autores concluyeron que la mayoría de los resultados clínicos no se podían asociar a la efectividad de los mecanismos y protocolos clínicos utilizados en las terapias robóticas.

En Resquín F, et al (32) se presentó el estado de la técnica de las soluciones robóticas híbridas actuales para la rehabilitación del brazo y mano en personas afectadas por un ictus. Para este fin, se identificaron y estudiaron un total de 10 sistemas robóticos diferentes. Los sistemas seleccionados se compararon críticamente considerando sus componentes y aspectos tecnológicos que forman parte de la solución robótica, las estrategias de control propuestas, así como los desafíos tecnológicos. Los investigadores señalaron que las evidencias correspondientes sobre la efectividad de estas terapias robotizadas híbridas se encuentran en un estado preliminar. Asimismo, concluyeron que se necesitan más estudios longitudinales para demostrar su eficacia en la rehabilitación motora de estos pacientes.

En Klamroth-Marganska V, et al (33) se evaluó si el robot de exoesqueleto (Armin) reducía el deterioro motor de manera más eficaz que el tratamiento convencional. Se realizó un ensayo prospectivo, multicéntrico, aleatorizado de grupos paralelos con pacientes diagnosticados de parálisis braquial moderada a severa después de un accidente cerebrovascular. El resultado fue una mejor puntuación de la evaluación de Fugl-Meyer (FMA-UE). Los 38 pacientes asignados a terapia robótica obtuvieron una mejoría significativa mayor en su recuperación de la función motora. Los autores observaron que el entrenamiento orientado a tareas con un robot exoesqueleto, puede mejorar la función motora en un brazo parético de manera más eficaz que la terapia convencional. Sin embargo, la diferencia absoluta entre los efectos de la terapia robótica y convencional en este estudio fue pequeña y de débil significación.

DISCUSIÓN

Después del estudio de la literatura se ha observado que existe una variedad en el uso de los dispositivos robóticos de recuperación motora de la mano. En este sentido, se señalan que

los dispositivos robóticos utilizados en la recuperación motora de la mano se implementan a través de una órtesis como efector final. Por otra parte es frecuente que la terapia sea realizada con el paciente en sedestación y el miembro superior colocado encima de una mesa. Entre las publicaciones científicas sobre la rehabilitación motora de mano, al parecer, los dispositivos robóticos de efector final más utilizados son los dispositivos Mitmanus, Adler y Braccio (12).

En otras investigaciones se ha observado una asociación moderada entre una mayor eficacia del entrenamiento motor bilateral en la terapia robótica del miembro superior con efector final, respecto del entrenamiento unilateral funcional centrado en el miembro parético (33). En contraposición, puede existir cierta controversia con los resultados encontrados en otros estudios (12,17,19). Porque esta evidencia está sujeta a una causalidad reducida si se analizan los tamaños muestrales de estos estudios, se puede observar que la población de casos tratados con esta nueva tecnología era muy pequeña. Además se podrían plantear posibles sesgos como el efecto placebo.

Asimismo, en otros ensayos clínicos se obtuvieron resultados asociados con la mejoría de la funcionalidad de la mano y el uso de tratamientos rehabilitadores a partir de dispositivos robóticos en los dedos (35,36). Además obtuvieron resultados de que la mejoría se mantenía en el tiempo una vez que ha finalizado la terapia con el dispositivo robótico. Aunque se debe señalar como posible sesgo que su poder de causalidad desde un punto de vista estadísticamente cuantitativo no se puede considerar definitivo por la falta de tamaño muestral. En este sentido se podrían plantear futuras investigaciones a partir de estudios de tipo cualitativo en los cuales se obtiene una saturación con muy pocos sujetos, pero su valor de causalidad sería considerable.

En relación a las diferentes aplicaciones del uso sobre los dispositivos robóticos exoesqueleto de mano, se encuentran estudios con dispositivos exoesqueleto que generan movimientos pasivos o asistidos. Y que actúan en la mejora del rango articular como una terapia asistida en la ejecución de movimientos voluntarios de la extremidad afectada neurológicamente (6, 12). Otros autores apuntan que la implementación del exoes-

queleto de mano en la recuperación motora de la mano parética puede facilitar una ejecución más intensiva de más actividades rehabilitadoras (5, 12,37).

Cabe señalar, que los efectos positivos de la terapia de rehabilitación con dispositivos robóticos se relacionaban con el aumento de la intensidad de las sesiones de rehabilitación (12,38). Entre otros aspectos podían aumentar la repetición de ejercicios, y este hecho al parecer, resultaba beneficioso para la inducción de cambios cerebrales en la afectación del paciente post ictus. Sin embargo, existe cierta controversia respecto al uso de exoesqueletos en el tratamiento rehabilitador de la mano en pacientes post ictus.

Cabe destacar que la recuperación obtenida con estos dispositivos a nivel motor no repercutía de una manera funcional en la capacidad de su desempeño ocupacional (39). Este es un factor importante en el paradigma de la recuperación funcional, con un claro objetivo de mejorar el desempeño de las funciones ocupacionales en los pacientes.

Por otra parte, según la literatura revisada está aumentando la inclusión de la realidad virtual como interfaz con los sistemas robóticos en la rehabilitación (40, 41, 42). Los autores señalan que la realidad virtual junto con la terapia de dispositivos robóticos aporta beneficios significativos en el ámbito motivacional de la terapia. Porque al parecer se produce una mejora del nivel de implicación del tratamiento por parte del paciente. Este factor es importante porque puede producir un aumento de la recuperación en estos pacientes, actuando en sinergia con los demás tratamientos. Otro aspecto importante en la aplicación de dispositivos robóticos en la rehabilitación de pacientes post ictus con afectación motora en el miembro superior; es que muchos de estos dispositivos tienen mecanismos de asistencia en el soporte anti-gravitatorio para el miembro superior afectado. Esta característica técnica produce una ventaja mecánica en la terapia rehabilitadora con una importante mejora del área de entrenamiento físico y motor de la mano, destacando sobre todo en las tareas de alcance (43, 44).

Esta circunstancia supone un aumento en las posibilidades terapéuticas del dispositivo exoesqueleto de mano para la rehabilitación motora y su efecto en la mejora de la funcionalidad de la mano afectada.

Cabe destacar, otro aspecto importante de las

intervenciones con dispositivos exoesqueleto en las terapias de rehabilitación motora, la ergonomía del profesional. Este hecho es importante en el profesional de la rehabilitación porque supone una prevención de lesiones laborales. Hay que tener en cuenta que el dispositivo robótico puede ayudar a disminuir la acción repetitiva del terapeuta en las tareas constantes y de esfuerzo (12, 42). Asimismo, otra característica importante es que el uso de dispositivos robóticos en rehabilitación puede permitir integrar dispositivos para obtener y guardar datos de información objetiva (45). De esta manera se pueden crear registros sobre el desarrollo de las tareas motoras ejecutadas del estado del paciente. Esto puede suponer una mejora en la gestión de futuras reevaluaciones y del diseño de estudios. Por otro lado, ofrece la posibilidad de hacer mediciones y estudios específicos de la biomecánica de estos pacientes.

En otras investigaciones se señala que la aplicación de la terapia robótica puede suponer un riesgo perjudicial en la rehabilitación motora por la pasividad que provoca en los pacientes y la dependencia que del mismo dispositivo hace el paciente (46, 47). En este concepto se tiene en cuenta que los dispositivos robóticos de miembro superior actúan más como un método compensatorio y no de recuperación funcional (48).

En este sentido, se debe trabajar en mejorar la creación de interfaces y de sistemas para detectar de manera más objetiva y real la propia actividad funcional que ejecuta el paciente.

Existen algunos inconvenientes, según la literatura científica, sobre la terapia rehabilitadora a partir de dispositivos robóticos. Entre ellos se señala la limitación en la interacción entre el paciente con el dispositivo robótico rehabilitador: Es por todo ello, que el desempeño del profesional sigue siendo indispensable. Por otro lado, aunque la mayoría de los dispositivos exoesqueleto de miembro superior han mejorado notablemente todavía difieren en la sincronización y los grados del movimiento anatómico de una persona. Este aspecto es importante en la limitación de ciertas actividades rehabilitadoras. Sobre todo en la sincronización de todo el miembro superior para alcanzar el objetivo manual de la prensión en estos pacientes con afectación de fuerza y coordinación en la mano.

Asimismo, en esta revisión se encontraron investigaciones que apuntaban a que se han sobervalorado de forma positiva las aplicaciones de los dispositivos robóticos en la rehabilita-

ción motora. Concluían que el tiempo de tratamiento con dispositivos robóticos, en los estudios, era muy superior frente al tiempo del tratamiento con las terapias más convencionales (49, 50).

En este trabajo de revisión se han de tener en cuenta algunas limitaciones. Principalmente, en cuanto a la selección de los estudios en la estrategia de búsqueda, cabe destacar que el idioma ha sido un criterio de inclusión. Para la revisión se han tenido en cuenta las investigaciones publicadas solo en español e inglés. Este criterio de inclusión puede ser una desventaja porque existen publicaciones en otros idiomas que no se traducen al inglés y no son publicadas en las bases de datos consultadas para esta revisión. Cabe destacar, el caso de Alemania o el de Japón como dos países vanguardistas en el desarrollo de dispositivos robóticos de rehabilitación.

CONCLUSIONES

La neurorrehabilitación evoluciona a la vez y de la mano de la tecnología. Cada vez, la medicina y los ingenieros tratan de adaptar los avances en ambos campos para integrarlos en sistemas robóticos que sean útiles para rehabilitar partes del cuerpo de pacientes afectados. Este trabajo nace de la inquietud sobre la necesidad de avanzar en la rehabilitación motora de la mano, ya que a pesar de haber progresado mucho en los últimos años, este avance se ha producido en menor medida que en los dispositivos robóticos para miembros inferiores. Asimismo, muchas veces los proyectos de investigación actuales, se dirigen más a la terapia de compensación, hacia la sustitución mediante prótesis y no tanto a facilitar la recuperación de la mano afectada.

Por estos motivos, este trabajo quiere contribuir a declarar que se necesitan más investigaciones y programas de desarrollo en la rehabilitación motora de la mano con dispositivos robóticos. Cada vez más se deben incorporar nuevas tecnologías basadas en la robótica y en la realidad virtual. Al parecer, en la actualidad se encuentra una evidencia moderada de la eficiencia de los dispositivos exoesqueleto en la rehabilitación de mano frente a las terapias convencionales, aunque, sí existen estudios preliminares con resultados muy satisfactorios.

Todavía se necesitan más ensayos longitudinales con buenos protocolos de investigación capaces de establecer esta relación de causalidad. Asimismo, es importante que nosotros mismos los profesionales de la rehabilitación nos formemos en estas nuevas tecnologías y podamos en un futuro próximo ofrecer tratamientos con estos dispositivos robóticos para mejorar en la recuperación y compensación de los pacientes.

REFERENCIAS

- Ramos S, Mané A, Pintor L. Revisión sistemática de la prevalencia y factores asociados a la ira tras un ictus. *Rev Neurol*. 2015; 60 (11): 481-89.
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Estrategia en ictus del Sistema Nacional de Salud 2008. [consultado 27 Feb 2017]. Disponible en: <http://www.msssi.gob.es/organizacion/sns/planCalidadSNS/docs/EstrategiaIctusSNS.pdf>.
- Murie-Fernández M, Irimia P, Martínez-Vila E, Meyer M, Teasel R. Neurorrehabilitación tras el ictus. *Neurología*. 2010; 25(3): 189-96.
- Nakayama H, Jorgensen HS, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of upper extremity function in stroke patients: The Copenhagenstroke study. *Arch Phys Med Rehabil*. 1994;75:852-7.
- Bayón M, Gil A, Benavente A, Drozdowskyj O, Sanchez G, del Alamo M. Eficacia de nuevas terapias en la neurorrehabilitación del miembro superior en pacientes con ictus. *Rehabilitación*. Elsevier; 2014; 48(4): 232-40.
- Lum PS, Godfrey SB, Brokaw EB, Holley RJ, Nichols D. Robotic approaches for rehabilitation of hand function after stroke. *Am J Phys Med Rehabil*. 2012;91:242-54.
- Masiero S, Armani M, Rosati G. Upper-limb robot-assisted therapy in rehabilitation of acute stroke patients: Focused review and review of results of new randomized controlled trial. *J Rehabil Res Dev*. 2011;48:355-66.
- Enriquez S, Narvaez Y, Vivas O, Diez J, Badesa F, Sabater J M. Sistema robótico de tipo exoesqueleto para rehabilitación de la mano. In: XXXV Jornadas de Automática. Comité Español de Automática de la IFAC. 2014; 44.
- Medline. Controlled vocabulary thesaurus [Internet]. [consultado 9 Jun 2017]. [6 palabras]. Disponible en: <http://https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh>
- Ayala J, Urriolagoitia G, Romero B, Migue T, René C, Aguilar L. et al. Mechanical design of an exoskeleton for upper limb rehabilitation. *Rev Colomb Biote*. 2015; 17(1): 79-90.
- Rocon E, Ruiz F, Raya R, Schiele A, Pons J L. Human-Robot Physical Interaction, in: Pons, J. L. *Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons*. John Wiley & Sons; 2008. pp 127-163.
- Rodríguez L, Cano R, Cuesta A, Alguacil I, Molina F. Terapia Robótica para la rehabilitación del miembro superior en patología neurológica. *Rehabilitación*. 2014; 48(2): 104-128.
- Lee S, Landers K, Park HS. Development of a biomimetic hand exotendon device (BiomHED) for restoration of functional hand movement post-stroke. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng*. 2014; 22(4): 886-98.
- Kazemi H, Kearney R, Milner T. Characterizing coordination of grasp and twist in hand function of healthy and post-stroke subjects. In *Rehabilitation Robotics (ICORR)*. IEEE Int Conf Rehabil Robot. 2013; p (1-6).
- Taheri H, Rowe J, Gardner D, Chan V, Gray K, Bower C, et al. Design and preliminary evaluation of the FINGER rehabilitation robot: controlling challenge and quantifying finger individuation during musical computer game play. *J. NeuroEng. Rehabil*. 2014; 11(1): 1-10.
- Beekhuis J, Westerveld A, van der Kooij H, Stienen A. Design of a self-aligning 3-DOF actuated exoskeleton for diagnosis and training of wrist and forearm after stroke. In *Rehabilitation Robotics (ICORR)*. IEEE Int Conf Rehabil Robot. 2013; p (1-5).
- Schabowsky C, Godfrey S, Holley R, Lum P. Development and pilot testing of HEXORR: hand EXOskeleton rehabilitation robot. *J. NeuroEng. Rehabil*. 2010; 7(1): 10-36.
- Burton T, Vaidyanathan R, Burgess S, Turton A, Melhuish C. Development of a parametric kinematic model of the human hand and a novel robotic exoskeleton. In *Rehabilitation robotics (ICORR)*. IEEE Int Conf Rehabil Robot. 2011; p (1-7).
- Varalta V, Picelli A, Fonte C, Montemezzi G, La Marchina E, Smania N. Effects of contralesional robot-assisted hand training in patients with unilateral spatial neglect following stroke: a case series study. *J NeuroEng Rehabil*. 2014; 11(1): 150-160.

20. Susanto E, Tong R, Ockenfeld C, Ho N. Efficacy of robot-assisted fingers training in chronic stroke survivors: a pilot randomized-controlled trial. *J. NeuroEng Rehabil.* 2015; 12(1): 30-42.
21. Ockenfeld C, Tong R, Susanto E, Ho S, Hu X. Fine finger motor skill training with exoskeleton robotic hand in chronic stroke: Stroke rehabilitation. In *Rehabilitation Robotics (ICORR)*. IEEE Int Conf Rehabil Robot. 2013; p (1-4).
22. Li J, Zheng R, Zhang Y, Yao J. iHandRehab: An interactive hand exoskeleton for active and passive rehabilitation. In *Rehabilitation Robotics (ICORR)*. IEEE Int Conf Rehabil Robot. 2011; p (1-6). IEEE.
23. Hwang C, Seong J, Son D. Individual finger synchronized robot-assisted hand rehabilitation in subacute to chronic stroke: a prospective randomized clinical trial of efficacy. *Clin Rehabil.* 2012; 26(8): 696-704.
24. Balasubramanian S, Klein J, Burdet E. Robot-assisted rehabilitation of hand function. *Curr Opin Neurol.* 2010; 23(6): 661-70.
25. Wolbrecht E, Reinkensmeyer D, Perez-Gracia A. Single degree-of-freedom exoskeleton mechanism design for finger rehabilitation. In *Rehabilitation Robotics (ICORR)*. IEEE Int Conf Rehabil Robot. 2011; p (1-6).
26. Brokaw E, Black I, Holley R, Lum P. Hand Spring Operated Movement Enhancer (HandSOME): a portable, passive hand exoskeleton for stroke rehabilitation. *Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2011; 19(4): 391-99.
27. Rosati G, Gallina P, Masiero S. Design, implementation and clinical tests of a wire-based robot for neurorehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2007; 15(4): 560-69.
28. Jones C, Wang F, Morrison R, Sarkar N, Kamper D. Design and development of the cable actuated finger exoskeleton for hand rehabilitation following stroke. *IEEE-ASME Trans Mechatron.* 2014; 19(1): 131-40.
29. Na Y, Kim J. Dynamic Elbow Flexion Force Estimation Through a Muscle Twitch Model and sEMG in a Fatigue Condition. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2016; 14 (9): 1-10.
30. Salvietti G, Hussain I, Cioncoloni D, Taddei S, Rossi S, Prattichizzo D. Compensating hand function in chronic stroke patients through the robotic sixth finger. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2017; 25(2): 142-50.
31. Sheng B, Zhang Y, Meng W, Deng C, Xie S. Bilateral robots for upper-limb stroke rehabilitation: State of the art and future prospects. *Med Eng Phys.* 2017; 38(7): 587-606.
32. Resquín F, Gómez A, Gonzalez-Vargas J, Brunetti F, Torricelli D, Rueda F et al. Hybrid robotic systems for upper limb rehabilitation after stroke: A review. *Med Eng Phys.* 2016; 38(11): 1279-88.
33. Cauraugh JH, Lodha N, Naik SK, Summers JJ. Bilateral movement training and stroke motor recovery progress: A structure-review and metaanalysis. *Hum Mov Sci.* 2010; 29:853-70.
34. Van Delden AL, Peper CL, Kwakkel G, Beek PJ. A systematic review of bilateral upper limb training devices for poststroke rehabilitation. *Stroke Res Treat.* 2012; (12):3517-854.
35. Hwang CH, Seong JW, Son D. Individual finger synchronized robot-assisted hand rehabilitation in subacute to chronic stroke: A prospective randomized clinical trial of efficacy. *Clin Rehabil.* 2012; 26:696-704.
36. Takahashi CD, Der-Yeghian L, Le VH, Motiwala R, Cramer SC. Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain.* 2008; 131:425-37.
37. Norouzi-Gheidari N, Archambault PS, Fung J. Effects of robot-assisted therapy on stroke rehabilitation in upper limbs: Systematic review and meta-analysis of the literature. *J Rehabil Res Dev.* 2012; 49:479-96.
38. Bayona NA, Bitensky J, Salter K, Teasell R. The role of task-specific training in rehabilitation therapies. *Top Stroke Rehabil.* 2005; 12:58-65.
39. Mehrholz J, Hadrich A, Platz T, Kugler J, Pohl M. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving generic activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012; 6:CD0068CD76.41.
40. Shih-Ching Y, Si-Huei L, Jia-Chi W, Shuya C, Yu-Tsung C, Yi-Yung Y, et al. Virtual reality for post-stroke shoulder-arm motor rehabilitation: Training system & assessment method. *IEEE 14th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*. 2012: 190-5.
41. Bayón M, Martínez J. Rehabilitación del ic-tus mediante realidad virtual. *Rehabilitación (Madr)*. 2010; 44:256-60.
42. Cano-de la Cuerda R, Collado-Vázquez S. Neurorehabilitación: métodos específicos de valoración y tratamiento. Madrid: Médica Panamericana; 2012.
43. Sanchez R, Reinkensmeyer D, Shah P, Liu J, Rao S, Smith R, et al. Monitoring functional arm movement for homebased therapy after stroke. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2004; 2:4787-90.
44. Sanchez RJ, Liu J, Rao S, Shah P, Smith R, Rahman T, et al. Automating arm movement training following severe stroke: Functional exercises with quantitative feedback in a gravity-reduced environment. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2006; 14:378-89.
45. Lum PS, Burgar CG, Shor PC, Majmundar M, van der Loos M. Robot-assisted movement training compared with conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper-limb motor function after stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002; 83:952-9.
46. Schabowsky C, Godfrey S, Holley R, Lum P. Development and pilot testing of HEXORR: Hand Exoskeleton rehabilitation robot. *J Neuroeng Rehabil.* 2010; 7:36-52.
47. Zihel J, Novak D, Olensek A, Mihelj M, Munih M. Evaluation of upper extremity robot-assistances in subacute and chronic stroke subjects. *J Neuroeng Rehabil.* 2010; 7:52-60.
48. Klamroth-Marganska V, Blanco J, Campen K, Curt A, Dietz V, Ettl T, et al. Three-dimensional, task-specific robot therapy of the arm after stroke: a multicentre, parallel-group randomised trial. *Lancet Neurol.* 2014; 13(2): 159-66.
49. Prange GB, Jannink MJA, Groothuis-Oudshoorn CGM, Hermens HJ, IJzerman MJ. Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke. *J Rehabil Res Dev.* 2006; 43:171-83.
50. Mehrholz J, Platz T, Kugler J, Pohl M. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving arm function and activities of daily living after stroke. *Stroke.* 2009; 40: 392-93. □