

Aplicación de la terapia robótica para el tratamiento de la mano espástica del adulto con hemiplejía.

Artículo de revisión

Ft. Cyndi Meneses Castaño, Ft. Yuly Peñaloza Peñaranda,*
Ft. Mónica Yamile Pinzón Bernal,** Ft. Julialba Castellanos Ruíz****

RESUMEN

Este artículo de revisión es producto de la construcción del referente conceptual de una investigación que se está desarrollando en el marco de la Maestría en Neurorehabilitación de la Universidad Autónoma de Manizales, Colombia, acerca del uso de la terapia robótica para el tratamiento de neurorehabilitación de la mano espástica del adulto con hemiplejía, donde se ha encontrado que los eventos cerebrovasculares son procesos que afectan de manera especial la función de miembros superiores, especialmente el agarre y la manipulación, situaciones que se correlacionan con el compromiso del control motor y el control postural. **Objetivo:** Identificar la terapia robótica como una posibilidad de intervención de neurorehabilitación para el tratamiento de la mano espástica del adulto con hemiplejía. **Material y métodos:** Se realizó una búsqueda de ensayos controlados aleatorizados de julio a diciembre de 2015 en bases de datos de PubMed, EMBASE, PEDro, Oteseecker; se seleccionaron los artículos que cumplieron los criterios de inclusión para posterior revisión de la literatura encontrada. **Discusión:** En la hemiplejía es común encontrar afectación de la función de las extremidades superiores llevando no sólo a dificultad en la realización de los patrones selectivos de movimiento, sino al componente funcional, individual y bilateral, especialmente para la función manual. **Conclusión:** Se encontró que la ventaja más importante del uso de la tecnología robótica en intervenciones de neurorehabilitación funcional es la capacidad de entrenamiento por medio de la repetitividad y dosificación del entrenamiento.

Palabras clave: Terapia robótica, adultos con hemiplejía, mano espástica, hemiplejía.

ABSTRACT

*This review article is the result of the construction of the conceptual reference for an investigation that is being developed within the framework of the Master in Neurorehabilitation of the Autonomous University of Manizales Colombia, about using robotic therapy for the neurorehabilitation treatment for spastic hand in hemiplegic adult, where it has been found that cerebrovascular events are processes that particularly affect the function of upper limbs, especially the grip and handling, situations that correlate with the commitment of motor and postural control. **Objective:** To identify robotic therapy as a possible intervention of neurorehabilitation for the treatment of spastic hand in hemiplegic adults. **Material and methods:** A search of randomized controlled trials from July to December 2015, in the databases PubMed, EMBASE, PEDro and Oteseecker, was performed; articles that met the inclusion criteria for further review of the literature found, were selected. **Discussion:** In hemiplegia it is common to find impairment of the upper limbs function, leading to not only difficulty in performing selective movement patterns, but the functional component, individually and bilateral, especially for the manual function. **Conclusion:** We found that the most important advantage of using robotic technology in neurorehabilitation interventions is functional training capacity through repetition and dosage management.*

Key words: Robotic therapy, hemiplegia adults, spastic hand, stroke.

- * Estudiante de Maestría en Neurorehabilitación.
** Coordinadora de Especialización en Neurorehabilitación.
*** Docente Investigadora del departamento de Movimiento Humano.

Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia

Abreviaturas:

FM = Fugl-Meyer.
ECV = Enfermedad cerebrovascular.
SNC = Sistema nervioso central.
AHA = American Heart Association.
HOH = Hand of Hope.
EMG = Señales electromiográficas.

Recibido para publicación: febrero, 2016.

Aceptado para publicación: marzo, 2016.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en
<http://www.medigraphic.com/medicinafisica>

INTRODUCCIÓN

La mano del hombre, en su complejidad, es una estructura perfectamente lógica y adaptada a sus funciones generando un sin número de posibilidades de posturas, movimientos y acciones que le han dado posibilidad de perfección debido a su movilidad, organización neuromuscular y capacidad de expresión¹.

Desde los antepasados se ha buscado perfeccionar y facilitar el trabajo a nivel industrial por medio de máquinas y robots para lograr mejores resultados en la producción, hasta el punto de aplicarlo en las ramas de la medicina, como beneficio humano para solucionar y facilitar los procesos de recuperación. Los primeros conceptos de robótica aparecieron

a finales de la década de los 40, con los desarrollos de quien es considerado el padre de esta disciplina G.C. Devol quien en 1954 patentó el primer manipulador con memoria, dando inicio a la era moderna de la robótica².

Con relación al uso de la terapia robótica como mecanismo de rehabilitación funcional, la historia se remonta a los años ochenta del pasado siglo, donde al principio no se consideraba que los robots industriales fueran adecuados para la robótica de rehabilitación debido a la pesadez de sus movimientos y a su historial de accidentes; sin embargo en 1999, investigadores de la Universidad de Tecnología y Economía de Budapest retomaron la idea de usar robots industriales estándar para la terapia en humanos. El proyecto REHAROB fue el primero en el mundo que buscaba utilizar robots industriales estándar, fabricados en serie, para la fisioterapia de individuos con hemiparesia espástica³.

Dentro del desarrollo de investigaciones sobre rehabilitación asistida por robot de las extremidades superiores se ha encontrado ganancia en las puntuaciones de Fugl-Meyer (FM) por cambios de conectividad funcional en el área motora suplementaria, la corteza motora contralateral, ipsilateral, y las partes del sistema visioespacial⁴, efectos positivos en la recuperación motora del miembro superior con el trabajo conjunto entre terapia asistida por robot y la participación voluntaria del sistema motor del miembro afectado⁵, mejoras significativas del tiempo y velocidad del movimiento como resultado de mayores rangos activos de movimiento y un mejor índice de co-contracción para el hombro extensión/flexión⁶.

La terapia robótica para la neurorehabilitación funcional de la mano espástica es un término que en los últimos años ha tomado mucha fuerza gracias a los avances de la tecnología. La variedad de equipos y los costos competitivos de los mismos han permitido aplicar su uso como una modalidad terapéutica emergente y promete convertirse en un estándar dentro de las guías de tratamiento. El hecho de ser una técnica relativamente nueva hace que la cantidad de información disponible sea limitada y que no permita dar resultados concluyentes. Además la amplia variedad de equipos dificulta el análisis unificado de los estudios realizados. Sin embargo, se ha encontrado que el uso de la terapia robótica como complemento a la terapia convencional y permite obtener resultados más efectivos en las personas con hemiplejía por enfermedad cerebrovascular (ECV)^{7,8}.

PRINCIPIOS DE CONTROL MOTOR Y TERAPIA ROBÓTICA

El entrenamiento de estos dispositivos se basa en diferentes modalidades de ejercicios que pueden ayudar a restaurar el control motor del miembro superior y su función. Una de las modalidades es el movimiento pasivo, en el que el dispositivo robótico mueve el brazo de la persona (posible en todos

los dispositivos robóticos), por otro lado está el movimiento activo o parcialmente asistido o resistido por el dispositivo robótico para el caso de la función voluntaria y selectiva (en el MIT-Manus, Bi-Manu-Track, MIME)^{9,10}. Una modalidad adicional es el ejercicio bimanual, en el que el movimiento activo del brazo no afectado se refleja en el movimiento pasivo simultáneo del brazo afectado (en Bi-Manu-Track y MIME).

En la mayoría de sistemas robóticos, se incorpora más de una modalidad en un solo dispositivo, la mayoría fueron diseñados para el entrenamiento de la parte proximal del miembro superior al permitir el movimiento en múltiples direcciones, mientras tanto dispositivos como el Bi-Manu-Track se centra en la parte distal del miembro superior y el MIT-Manus que fue diseñado para el entrenamiento de los movimientos de la muñeca. Nuevos dispositivos robóticos y evoluciones de los existentes están continuamente siendo desarrollados, por ejemplo, Furusho y Colombo quienes incluyen varios sistemas de entrenamiento de movimientos de la mano¹¹.

APRENDIZAJE MOTOR, NEUROPLASTICIDAD Y TERAPIA ROBÓTICA

La aplicación sistemática de la robótica en neurorehabilitación proviene directamente de los recientes descubrimientos de la neurociencia que demuestran claramente cómo los ejercicios físicos basados en movimientos voluntarios son capaces de producir resultados clínicos significativos en la recuperación motora después de sufrir una ECV. De hecho, estos ejercicios no sólo promueven la recuperación funcional después de una lesión traumática del Sistema Nervioso Central (SNC)¹², sino también promueven el proceso de neurogénesis¹³. Por otra parte, los ejercicios activos estimulan mecanismos, mediados por factores neurotróficos cerebrales, que mejoran la plasticidad neural mediante el uso de dispositivos robóticos, como posible estrategia de rehabilitación para lograr la recuperación motora, se justifica en su impacto en la mejora del tratamiento terapéutico y en el aprendizaje de la función motora. En cualquier caso, el enfoque terapéutico debe estar bien estructurado y ser repetitivo, a fin de promover la reorganización cortical después del ECV¹⁴. Las recomendaciones de la *American Heart Association* (AHA) sobre la rehabilitación integral y multidisciplinar de las personas que han sufrido un ictus, ofrece una visión general y la mejor evidencia disponible para los diferentes tratamientos médicos tras un ECV, incluyendo terapias de rehabilitación tradicionales y técnicas más nuevas, como las terapias asistidas por robots^{15,16}.

Actualmente en Colombia, los sistemas robóticos se han perfeccionado de una forma exponencial, tanto en el desarrollo de distintas aplicaciones de trabajo, asistencia, reconocimientos de entornos, entre otros; así como también del avance en los métodos de inteligencia artificial aplicados

y hardware especializado para tareas puntuales que antes no se podían desarrollar¹⁷.

Existe un creciente interés en el uso de dispositivos robóticos en la neurorehabilitación, por ejemplo, a nivel de extremidades superiores se ha encontrado que la función del brazo parético en las actividades de la vida diaria puede mejorar en personas con ECV¹⁸.

Los principios de control y aprendizaje motor de forma computacional derivados de estudios en sujetos sanos se introducen en el contexto de la neurorehabilitación robótica. Se presta especial atención a la idea de contexto, la generalización de tareas y horario de entrenamiento, se examinan los supuestos que subyacen a la elección de trayectorias de movimiento programado en el entrenamiento con terapia robótica y el grado de participación activa requerida. Consideramos la rehabilitación como un problema de aprendizaje en general, y se examina desde la perspectiva de los marcos teóricos como el aprendizaje supervisado y no supervisado⁷.

Los dispositivos robóticos en la actualidad están ayudando a arrojar grandes resultados sobre personas con lesiones a nivel del control motor y estas tecnologías han abierto nuevos campos de acción en el tratamiento del miembro superior. Las investigaciones están ganando terreno en la interpretación del sistema nervioso y como éste construye modelos internos de neuroplasticidad. Bajo estrategias de impedancia y de control por medio de la retroalimentación, los robots también están siendo utilizados para ayudar en la práctica de un movimiento repetitivo proporcionando información sobre éste y permitiendo la recuperación tras una lesión, papel que juega el sistema robótico en el cerebro, especialmente en la corteza somatosensorial y en los servomecanismos de control motor. Estos dispositivos pueden tener la capacidad para evaluar también el rendimiento sensoriomotor así como cuantificar la cantidad y calidad del entrenamiento mejorando el control motor con mayor nivel de recuperación, generando paradigmas que pueden eventualmente mejorar el aprendizaje donde la rehabilitación va más allá de los niveles posibles que si se realizara con técnicas de entrenamiento convencionales¹⁸.

COMPONENTES DE LA TERAPIA ROBÓTICA

El uso de robots en rehabilitación tiene dos aplicaciones fundamentales: durante movimientos activos del paciente, permiten almacenar información de la realización del movimiento (posición, velocidad y fuerza), ayudando de esta forma a evaluar la evolución de la terapia sobre las personas¹⁹.

El objetivo final del sistema autoadaptativo de rehabilitación robótica es la incorporación de información proveniente del usuario y el control del sistema. Para ello se va a hacer uso de la información extraída de las señales fisiológicas de la persona para estimar su estado psicofisiológico y usar

esta información para modificar automáticamente el nivel de dificultad de la tarea²⁰.

Como componentes robóticos en la rehabilitación de la mano desarrollados hasta el momento son: HEXXOR, que consta de dos módulos que permiten controlar por separado los movimientos de los dedos y el pulgar, se adapta a diferentes tamaños de mano y brinda asistencia de fuerza de acuerdo con las necesidades del paciente, también existen dispositivos de tipo guante, como el GLOREHA que deja la palma totalmente libre, tiene poco peso y cuenta con un software que permite la representación en 3D de los movimientos realizados. Otros dispositivos como el *Hand of Hope* (HOH) permiten la autoiniciación del movimiento a través de señales electromiográficas (EMG) y ofrece la simulación de diferentes actividades cotidianas²¹. Finalmente, el AMADEO brinda diferentes niveles de resistencias de flexión y extensión de cada dedo, a la vez que mide los rangos de movimiento²².

PROCEDIMIENTOS DE NEUROREHABILITACIÓN FUNCIONAL CON LA TERAPIA ROBÓTICA

La ventaja más importante del uso de la tecnología robótica en intervenciones de Neurorehabilitación funcional, es la capacidad de entrega de alta dosis y alta intensidad de entrenamiento, por tanto los robots de rehabilitación se dividen en robots terapéuticos y de asistencia, cuyo propósito es la compensación, mientras que los robots terapéuticos proporcionan entrenamiento de tareas específicas⁷, según Edmans «los sistemas robóticos deben utilizar los sistemas de realidad mixta, donde los objetos sensibles de movimiento y visión artificial crean un entorno de realidad virtual que está dirigido por la manipulación de objetos reales». Los robots de rehabilitación se pueden dividir en robots terapéuticos, los cuales proporcionan entrenamiento de tareas específicas y robots de asistencia cuyo propósito es la compensación, estos dispositivos tienen el potencial para un mayor impacto en la disminución del deterioro con características como aplicabilidad a través de una amplia gama de alteraciones motoras, alta fiabilidad en la medición, manejo de dosis terapéuticas, protocolos de entrenamiento y fácil implementación²³.

La automática y la robótica están posibilitando la realización de tareas en modo asistido con ayuda de dispositivos auxiliares avanzados incidiendo especialmente en el apoyo a las funciones biomecánicas donde la bioingeniería constituye un área de trabajo e investigación multidisciplinaria y por tanto ofrece importantes conocimientos y herramientas para abordar los problemas relacionados con el diagnóstico y el seguimiento de las diferentes patologías con necesidades funcionales y la diversidad de terapias a aplicar, por tanto la robótica para la rehabilitación maneja diferentes sistemas para la mejora de la terapia clínica en pacientes con ECV,

pretendiendo mejorar el tono muscular, la movilidad articular y la coordinación neuromotriz, previniendo deterioros como atrofas y osteoporosis. La mayoría de estos tipos de robots son un tipo de órtesis que tratan de replicar un movimiento mediante movilidad pasiva o activa, logrando asistir al paciente en sus movimientos deficientes o soportándolo, como por ejemplo la mano construida por Diccico con control por EMG y la órtesis de Sasaki, en todos los casos las posibilidades de rehabilitación que abre la robótica son muy amplias pues no solamente puede ayudar al usuario a realizar las funciones biomecánicas en la justa medida sino que el terapeuta puede establecer para cada paciente un programa específico evolutivo e igualmente valorar en cada sesión el progreso conseguido mediante la medida de los parámetros biomecánicos representativos tales como amplitud del movimiento de tipo lineal o angular, tiempos de ejecución, fuerzas y pares ejercidos²⁴.

El bloque de predicción biomecánica permite la anticipación a los errores que el paciente pueda llegar a cometer. Este subsistema está basado en los denominados «*forward models*» presentes en el cerebelo, los cuales transforman comandos motores en consecuencias sensoriales para estimar el estado del cuerpo y de su entorno. Estos modelos son necesarios, principalmente, porque las líneas de transmisión humanas (axones) transportan la información a una velocidad inferior a la de la velocidad del sonido, por lo que se ha de compensar el retraso acumulado en la información sensorial percibida. La neurorehabilitación robótica es por tanto atractiva debido a varias razones tales como su gran potencial para un fácil despliegue, su aplicabilidad en un amplio rango de déficits motores y su fiabilidad en cuanto a la toma de medidas, lo que ha conllevado a un gran aumento en la penetración de estos dispositivos en entornos clínicos. Además, también se cree que las terapias basadas en robots durante la fase aguda y subaguda favorece la recuperación funcional debido a procesos biológicos espontáneos²⁵.

TENDENCIAS ACTUALES EN TERAPIA ROBÓTICA

Las investigaciones más recientes muestran que la combinación entre un tratamiento convencional de movimiento pasivo combinado con uno asistido por un dispositivo robótico genera ganancias significativas no sólo en la mejoría de las condiciones mioarticulares del individuo sino también en su funcionalidad dando claridad que pese a las investigaciones hechas, cada una por separado no obtienen mayores resultados como cuando se combinan, estos dispositivos han de ser seguros, poco complejos y ligeros, para permitir su adecuado uso²⁶.

En fases hospitalarias ya se está incursionando en el tratamiento con equipos robóticos con el fin de evitar una instauración de la fase espástica en las personas, generando un mejor pronóstico a futuro para la movilidad del segmento.

Actualmente se está mostrando cómo la investigación en este amplio tema ha crecido rápidamente y el número de robots terapéuticos de rehabilitación se ha expandido dramáticamente en las últimas dos décadas²⁶. Asimismo, es importante enmarcar que ningún dispositivo robótico reemplaza la acción del profesional de salud, de forma contraria se convierte en un elemento más de apoyo para la rehabilitación de las personas, brindándole al profesional una adecuada dosificación de las sesiones en cuanto a velocidad, resistencia e intensidad de la misma, mide la evolución según el rango de tiempo que se desee.

MATERIAL Y MÉTODOS

Como parte del insumo para la elaboración de una revisión sistemática acerca del uso de la terapia robótica para el tratamiento de la mano espástica del adulto con hemiplejía, se llevó a cabo la construcción del referente teórico de la investigación, para lo cual se hizo un proceso de búsqueda de literatura científica en PubMed, registro Central Cochrane de Ensayos Clínicos Controlados – CENTRAL, LILACS, Scielo, así como, en las bibliotecas virtuales, ScienceDirect, ProQuest, SpringerLink, BioMed Central, *Occupational Therapy Systematic Evaluation of Evidence* (OTSEEKER), *Physiotherapy Evidence Database* (PEDro), dichas búsquedas se realizaron en el periodo comprendido entre el 24 de julio y el 16 de diciembre de 2015; los criterios de inclusión fueron: ensayos controlados aleatorizados realizados en adultos con hemiplejía espástica por ECV entre los 18 y 85 años de edad y terapia robótica como técnica neurorehabilitadora empleada para el entrenamiento de miembro superior.

DISCUSIÓN

Se reconoce que la hemiplejía generalmente se produce como consecuencia de ECV, definida ésta según la Organización Mundial de la Salud como «el rápido desarrollo de signos focales (o globales) de compromiso de la función cerebral, con síntomas de 24 horas o más, o que lleven a la muerte sin otra causa que el origen vascular²⁷» cuya deficiencia motora está caracterizada por compromiso del hemicuerpo contralateral al lugar de la lesión, que se puede acompañar de alteraciones sensitivas, cognitivas, perceptuales y del lenguaje. En la hemiplejía es común encontrar afectación de la función de las extremidades superiores llevando no sólo a dificultad en la realización de los patrones selectivos de movimiento, sino al componente funcional, individual y bilateral, especialmente para la función manual y aunque no está claro el potencial de recuperación existen métodos de intervención empleados que pueden disminuir los niveles de discapacidad y de dependencia como consecuencia de las disfunciones en las extremidades superiores. En este sentido, gran parte de los conocimientos

sobre rehabilitación funcional de la extremidad superior se han generado a partir de la investigación basada en el cuerpo de la mejor evidencia disponible, ya que son cada día más las personas reportadas con ECV en el mundo; sin embargo, es importante reconocer que no todas las modalidades de terapias emergentes o actuales están indicadas como una opción terapéutica, sino que van de la mano de otros modelos que aunque tradicionales y con poca evidencia científica, han sido de reconocimiento internacional y que clínicamente han dejado resultados significativos en algunos de los casos. Es por ello que se reconoce a la neurorehabilitación actual y a la terapia robótica como un proceso de participación activa y de interacción dinámica entre la persona con déficit neurológico y el terapeuta con el fin de establecer metas funcionales que permitan un logro de los objetivos trazados, partiendo además del mantenimiento de los aspectos emocionales como la motivación y el reconocimiento de la cognición como elemento importante dentro del proceso de recuperación²⁸.

CONCLUSIONES

La fisioterapia mediada por dispositivos robóticos ofrece una nueva posibilidad para mejorar el resultado de la rehabilitación de las personas que se están recuperando tras sufrir un ECV, el entrenamiento del miembro superior apoyado en dispositivos robóticos que involucran el hombro, codo y muñeca muestran significativa mejoría en la reducción de la espasticidad medido según la escala de Ashworth modificada y con ello una posterior mejoría en el control motor para la ejecución de las diferentes actividades.

En los últimos años se ha tenido un avance vertiginoso en el uso de la terapia robótica para la rehabilitación de la mano generando dispositivos de última generación que entran a jugar un papel muy importante en el proceso de recuperación de los pacientes con diferentes tipos de alteración en la funcionalidad de la mano a causa de una lesión cerebral. Estas alteraciones que generan aumento del tono muscular y por ende una hipertonía que lleve a generar un cuadro espástico limitando al individuo para la ejecución de los patrones funcionales no sólo de la mano sino de todo su miembro superior.

Las investigaciones más recientes nos muestran que la combinación entre un tratamiento convencional de movimiento pasivo combinado con uno asistido por un dispositivo robótico genera ganancias significativas no sólo en la mejoría de las condiciones mioarticulares del individuo sino también en su funcionalidad, dando claridad que pese a las investigaciones hechas cada una por separado no obtienen mayores resultados como cuando se combinan.

En fases hospitalarias ya se está incursionando en el tratamiento con equipos robóticos con el fin de evitar una instauración de la fase espástica en los pacientes, generando un mejor pronóstico a futuro para la movilidad del segmento.

Es importante enmarcar que ningún dispositivo robótico reemplaza la acción del profesional de salud, de forma contraria se convierte en un elemento más de apoyo para la rehabilitación de los pacientes, brindándole al profesional una adecuada dosificación de las sesiones en cuanto a velocidad, resistencia, movilidad e intensidad de la misma, permitiéndole medir la evolución diaria del paciente.

REFERENCIAS

1. Kapandji IA. *Cuadernos de fisiología articular*. Tomo I. Miembro Superior. 5ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 1999.
2. Nof SY. *Robot ergonomics: optimizing robot work*. In: S. Y. Nof (Ed.), Handbook of industrial robotics. New York: John Wiley & Sons, 1985
3. Mokhtari M. *Integration of assistive technology in the information age*. ICORR'2001, 7th International Conference on Rehabilitation Robotics. 2001, p. 9.
4. Várkuti B, Guan C, Pan Y, Phua KS, Ang KK, Kuah CW. Resting state changes in functional connectivity correlate with movement recovery for BCI and robot-assisted upper-extremity training after stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2013; 27 (1): 53-62.
5. Song R, Tong KY, Hu X, Zhou W. Myoelectrically controlled wrist robot for stroke rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*. 2013; 10: 52.
6. Frisoli A, Procopio C, Chisari C, Creatini I, Bonfiglio L, Bergamasco M et al. Positive effects of robotic exoskeleton training of upper limb reaching movements after stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 2012; 9: 36.
7. Huang VS, Krakauer JW. Robotic neurorehabilitation: a computational motor learning perspective. *J Neuroeng Rehabil*. 2009; 6: 5.
8. Kamper DG. Restoration of hand function in stroke or spinal cord injury. *Neurorehabilitation Technology*. 2011; 175-190.
9. Krebs HI, Hogan N, Volpe BT, Aisen ML, L Edelstein, Diels C. Visión general de los ensayos clínicos con MIT-MANUS: una instalación de neurorehabilitación robot con ayuda. *Cuidado de la Salud Technol*. 1999; 7 (6): 419-423.
10. Burgar CG, Lum PS, PC Shor, Machiel Van der Loos HF. Desarrollo de robots para la terapia de rehabilitación: la experiencia Palo Alto VA/Stanford. *J Rehabil Res Dev*. 2000; 37 (6): 663-673.
11. Prange GB, Jannink MJ, Groothuis-Oudshoorn CG, 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 (2): 171-184.
12. Jones TA, Chu CJ, Grande LA, Gregory AD. Motor skills training enhances lesion-induced structural plasticity in the motor cortex of adult rats. *J Neurosci*. 1999; 19 (22): 10153-10163.
13. Kempermann G, Van Praag H, Gage FH. Activity-dependent regulation of neuronal plasticity and self repair. *Prog Brain Res*. 2000; 127: 35-48.
14. Staines WR, McLroy WE, Graham SJ, Black SE. Bilateral movement enhances ipsilesional cortical activity in acute stroke: a pilot functional MRI study. *Neurology*. 2000; 56 (3): 401-404.
15. Miller EL, Murray L, Richards L, Zorowitz RD, Bakas T, Clark P et al; American Heart Association Council on Cardiovascular Nursing, and the Stroke Council. Comprehensive overview of nursing and interdisciplinary rehabilitation care of the stroke patient: a scientific statement from the American Heart Association. *Stroke*. 2010; 41 (10): 2402-2448.
16. Morles VR. Diseño y control de dispositivos robóticos para la administración temprana de terapias de Neurorehabilitación. [Tesis Doctoral]: Universidad Miguel Hernández de Elche. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática; 2013.
17. Varalta V et al. Effects of contralesional robot-assisted hand training in patients with unilateral spatial neglect following stroke: a case series study. *J Neuroeng Rehabil*. 2014; 11: 160.

18. Reinkensmeyer DJ, Emken JL, Cramer SC. Robotics, motor learning, and neurologic recovery. *Annu Rev Biomed Eng.* 2004; 6: 497-525.
19. Sabater-Navarro J, Badesa F, Morales VR, García N, Azorín J, Pérez VC. Experiencias en el desarrollo de un sistema robótico para rehabilitación de miembro superior para pacientes con daño cerebral sobrevenido. *Revista Universitaria RUTIC, Norteamérica.* 2012; 1: 26-34.
20. Morales R, Badesa FJ, García-Aracil N, Aranda J, Casals A. Evaluación en un paciente con ictus en fase crónica de un sistema autoadaptativo de neurorehabilitación robótica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI.* 2015; 12: 92-98.
21. Ren Y. Developing a multi-joint upper limb exoskeleton robot for diagnosis, therapy, and outcome evaluation in neurorehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2013; 21 (3): 490-499.
22. Narváez Y, Vivas OA, Enriquez SC, Sabater-Navarro JM, García N, Martínez A. Diseño de un dispositivo neumático para rehabilitación de mano mediante funda termoretráctil. *Actas de las XXXV Jornadas de Automática.* 2014, pp. 423-429.
23. Pinzón BMY. Alteraciones de la función motora de miembro superior en la hemiplejía. *Modelos de Intervención Fisioterapéutica. Mov Cient.* 2009; 3 (1): 101-108.
24. Ceres R, Mañanas MA, Azorín JM. Interfaces y sistemas en rehabilitación y compensación funcional para la autonomía personal y la terapia clínica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI.* 2011; 8 (2): 5-15.
25. Pérez RR, Costa BU, Cáceres TC, Tormos MJM, Medina CJ, Gómez A EJ. Algoritmo de control anticipatorio assisted-as-needed para neurorehabilitación funcional de extremidad superior. En: *XXX Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica CASEIB 2012. Libro de actas.* San Sebastián, España. 2012, p. 100.
26. Kamper DG. *Restoration of hand function in stroke or spinal cord injury.* In: *Neurorehabilitation Technology.* 2012, pp. 175-190.
27. WHO Task Force on Stroke and other Cerebrovascular Disorders. World Health Organization. Stroke -1989: report of the WHO Task Force on Stroke and other cerebrovascular disorders. *Stroke.* 1989; 20: 1407-1431.
28. Kitago T, Krakauer JW. Motor learning principles for neurorehabilitation. *Handb Clin Neurol.* 2013; 110: 93-103.

Dirección para correspondencia:
Ft. Cyndi Meneses Castaño
Carrera 65 # 79 A 80 Torre A Apto 201,
Bogotá D.C., Colombia
Teléfono: +57 3132890786