

Realidad virtual en la rehabilitación motora de la mano en pacientes postictus

Virtual reality therapy for motor rehabilitation of hand function in post-stroke patients

Marcos Martínez Pino¹

¹Universidad de Almería. Almería, España.

RESUMEN

Introducción: La enfermedad cerebrovascular o ictus es una de las primeras causas de muerte e invalidez. Los avances en su tratamiento tienen como eje fundamental la neurorrehabilitación. En las últimas décadas han surgido en este ámbito una serie de nuevas tecnologías, como la terapia asistida con dispositivos robóticos o con realidad virtual. Esto forma parte de un paradigma basado en la neuroplasticidad del sistema nervioso que incorpora el concepto del reaprendizaje motor. La terapia con sistemas de realidad virtual en pacientes agudos *postictus* puede ayudar a mejorar la recuperación funcional y la destreza del miembro superior parético.

Objetivo: Revisar, desde la evidencia científica actual, las aplicaciones de la terapia de realidad virtual y su eficacia en la recuperación motora de la mano en pacientes que han sufrido un ictus.

Métodos: Se revisaron estudios sobre realidad virtual y se valoraron las características técnicas y sus aplicaciones en el tratamiento rehabilitador de la mano parética. Se seleccionaron artículos de revisión y estudios observacionales de las terapias con realidad virtual.

Conclusiones: Se precisan futuros ensayos clínicos que determinen la eficacia real de estas nuevas terapias.

Palabras clave: Rehabilitación de un accidente cerebrovascular; trastornos motores; miembro superior; dedos, robot; realidad virtual.

ABSTRACT

Introduction: Cerebrovascular accident or stroke is one of the leading causes of death and invalidity. Progress in its treatment is mainly focused on neurorehabilitation. Recent decades have witnessed the emergence of new technologies, such as robot- or virtual reality-assisted therapy. Such treatments are part of a paradigm based on the neuroplasticity of the nervous system, and incorporate the concept of motor relearning. Virtual reality therapy may help acute post-stroke patients improve functional recovery and restore the function of the affected upper limb.

Objective: Based on current scientific evidence, review the uses of virtual reality therapy and its effectiveness for motor rehabilitation of hand function in post-stroke patients.

Methods: A review was conducted of studies about therapeutic uses of virtual reality, analyzing their technical characteristics and applicability in the rehabilitation of the hemiplegic hand. The publications selected were review papers and observational studies about virtual reality therapies.

Conclusions: Further clinical assays are required to determine the actual effectiveness of these new therapies.

Keywords: Stroke rehabilitation; motor disorders; upper limb; fingers; robot; virtual reality.

INTRODUCCIÓN

El ictus o accidente cerebrovascular (ACV) se considera una de las primeras causas de incapacidad y supone un elevado costo económico en los países desarrollados. Según estudios, a los seis meses del ACV, 26,1 % de los afectados fallece y el daño cerebral de los supervivientes puede ocasionar problemas cognitivos o psicológicos, en el habla, el movimiento, lo cual genera una dependencia funcional en el 44 % de estos.⁽¹⁾

Los ictus son la segunda causa de muerte en el mundo y en España, con tasas crudas de prevalencia de edad específicas de 3,5 %, de acuerdo con el estudio Nedices (Desórdenes Neurológicos en el Centro de España, por sus siglas en inglés). El ACV consume alrededor de 3 % y 4 % del presupuesto sanitario en países desarrollados.⁽²⁾ Se prevé un incremento de su incidencia en los próximos años si se toma en cuenta el progresivo envejecimiento de la población y que 75 % de los ictus afecta a pacientes mayores de 65 años.⁽³⁾

Entre las secuelas y deficiencias más comunes producidas por el ACV, está la limitación en la funcionalidad del miembro superior, principalmente por la debilidad muscular. Solo 18 % de los pacientes con ictus y hemiparesia inicial grave, alcanzan al cabo de 5 meses una recuperación funcional completa en actividades de la vida diaria (AVD), como la comida y el aseo personal.⁽⁴⁾

La neurorrehabilitación se define como un conjunto de técnicas cuya finalidad es recuperar las funciones neurológicas afectadas como consecuencia de un daño del sistema nervioso. En las últimas décadas han surgido en el ámbito de la neurorrehabilitación una serie de nuevas tecnologías como la terapia con realidad virtual. Esta forma parte de un nuevo paradigma basado en la capacidad de neuroplasticidad del sistema nervioso e incorpora el concepto del reaprendizaje motor en el tratamiento orientado a la realización de tareas rehabilitadoras.⁽⁵⁾

La realidad virtual es un entorno que se simula mediante un ordenador, donde a través de una interfaz hombre-máquina se produce una interacción y *feedback* sensorial del usuario con un entorno virtual altamente motivador que facilita la realización de los ejercicios programados.^(6,7,8)

La realidad virtual se emplea en la actualidad como una herramienta de apoyo en la rehabilitación funcional. Para acreditar la funcionalidad de esta nueva tecnología en la rehabilitación motora resulta necesario realizar diferentes pruebas en personas sanas, para luego hacer una evaluación en pacientes con afectación en la mano. De esa manera se comprobarían los beneficios para la recuperación del paciente, quien sería más independiente a la hora de hacer las AVD.^(9,10)

La terapia de realidad virtual en rehabilitación tiene aplicaciones fundamentales en los movimientos del paciente, por lo que se considera una técnica innovadora y útil para el profesional rehabilitador.^(11,12) Existen diferentes entornos de aplicación de la realidad virtual. Algunos son inmersivos como los cascos de visualización estereoscópica o las cabinas virtuales y otros no inmersivos, como las consolas comerciales de realidad virtual.

Además, se usan sistemas de realidad virtual acoplados a dispositivos hápticos, que pueden proporcionar un *feedback* de fuerza de prensión e información sensorial y táctil.⁽⁵⁾ Estos dispositivos se relacionan con el movimiento, y por tanto incrementan la sensación de inmersión del individuo en el entorno virtual.

En este artículo de revisión se mencionan los diferentes dispositivos de realidad virtual usados para la rehabilitación del miembro superior y el uso que se les da en la rehabilitación motora de la mano.

El objetivo de este artículo es revisar, desde la evidencia científica actual, las aplicaciones de uso de la terapia de realidad virtual y su eficacia en la recuperación motora de la mano parética en los pacientes que han sufrido un ictus.

MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se hizo una revisión bibliográfica del 5 al 9 de abril de 2017. Se tomaron en cuenta los estudios sobre el uso de dispositivos de realidad virtual para la rehabilitación del miembro superior publicados en la literatura científica hasta esa fecha. Se utilizaron las siguientes bases de datos: Medline y ScienceDirect. Los términos empleados para la búsqueda fueron: *stroke rehabilitation, motor disorders, upper limb, virtual reality*, así como combinaciones de los mismos: [(((*stroke rehabilitation*) AND *motor disorders*) AND *upper limb*) AND *virtual reality*].

Stroke rehabilitation: Grupo de afecciones patológicas caracterizadas por una pérdida repentina y no convulsiva de la función neurológica debida a isquemia cerebral o hemorragias intracraniales. El accidente cerebrovascular se clasifica por el tipo de tejido necrosis, como la localización anatómica, el área vascular implicada, la etiología, la edad del individuo afectado y la naturaleza hemorrágica frente a la no hemorrágica.

Motor disorders: Déficits que interfieren de forma significativa y persistente en la realización de las actividades de la vida diaria adecuadas a la edad cronológica (DSMIV).

Upper limb: Región que se extiende desde la región deltoides a la mano, incluye el brazo, la axila y el hombro en un animal vertebrado.

Virtual reality: Técnica de tratamiento en un entorno virtual que permite al participante experimentar una sensación de presencia en un entorno interactivo, inmersivo, generado por un ordenador tridimensional que minimiza el comportamiento de evitación y facilita la implicación emocional.⁽¹³⁾

En primer lugar se comprobó la existencia de los términos de búsqueda (palabras clave) en el tesoro de PubMed que es un motor de búsqueda de libre acceso a la base de datos Medline de citas y resúmenes de artículos de investigación biomédica.

Fueron incluidos los artículos en inglés y español publicados en las citadas bases de datos. Como se aplicó el filtro temporal, solo se seleccionaron los artículos científicos publicados desde 2006. Para complementar la información, se consultaron el buscador Google Scholar y determinadas páginas web con contenido científico-tecnológico sobre las aplicaciones de la terapia virtual en neurorrehabilitación de miembro superior.

SELECCIÓN DE ESTUDIOS

En primer lugar se analizaron los artículos de revisión y los estudios de ensayos clínicos sobre la rehabilitación motora de mano en pacientes que han sufrido un ictus. Para establecer el nivel de evidencia científica de las investigaciones se siguió la clasificación del Centro para la Medicina Basada en la Evidencia de Oxford.⁽⁹⁾

Para seleccionar los estudios se tuvo en cuenta el poder estadístico de los mismos y se aplicaron escalas de valoración validadas. Cabe destacar que en algunos de ellos el tamaño de la muestra fue algo limitado, pues todavía hoy las terapias de realidad virtual en la neurorrehabilitación se encuentran en una fase experimental en muchos casos.

Después de la lectura del título y del resumen de todos los artículos seleccionados en la primera criba de la búsqueda se excluyeron los duplicados, con texto incompleto y los que no se ajustaban al objetivo.

El autor se limitó a analizar los artículos relacionados con la aplicación del dispositivo exoesqueleto de miembro superior en el ámbito de la rehabilitación motora para el tratamiento de la mano y de los dedos, de tal forma que se redujo la cantidad de estudios examinados.

Después de revisar los artículos, se seleccionaron 4 de ScienceDirect e igual cantidad de Medline, que obedecían al objetivo planteado en esta revisión. El resto de artículos fueron excluidos por no tratarse de la aplicación de la realidad virtual en la rehabilitación motora del miembro superior en pacientes *postictus*.

De forma paralela se efectuó una búsqueda en Google Scholar con las mismas palabras clave utilizadas y combinaciones de las mismas. Además, se visitaron diversas páginas web para obtener más información sobre las aplicaciones de la realidad virtual en la rehabilitación del miembro superior en pacientes *postictus*. Se excluyeron los estudios que no se aplican en la clínica (prototipos).

RESULTADOS

De los 10 artículos científicos encontrados en la base de datos Medline, solo uno era de revisión. En la base de datos ScienceDirect se obtuvieron 11 resultados, incluidas 2 revisiones.

A partir de lo encontrado en la revisión bibliográfica, se elaboró el cuadro donde se presentan varios dispositivos robóticos empleados en la rehabilitación motora de pacientes con afectación motora de la mano y/o en los dedos. Se expone el tipo de robot exoesqueleto utilizado, los movimientos que rehabilita, el tipo de terapia, así como la posición de trabajo y el ámbito de la tarea funcional que realiza.

Cuadro. Dispositivos exoesqueléticos que combinan la realidad virtual en la rehabilitación motora del miembro superior

Nombre	Desarrollo del exoesqueleto	Tipo de terapia	Articulaciones y movimientos	Tareas funcionales	Observaciones
T-WREX	Clínico	Activo-asistido Antigravitatorio	Hombro: flexo-extensión, abducción, aducción y rotación. Codo: flexo-extensión, pronosupinación. Mano: prensión	Prensión manual en tareas de miembro superior	Sedestación y emplea realidad virtual
ARMEO POWER (ARMIN III)	Clínico	Pasivo Activo-asistido Activo-resistido Antigravitatorio	Hombro: flexo-extensión, abducción, aducción, rotación Codo: flexo-extensión. Pronosupinación. Muñeca: flexo-extensión. Mano: prensión	Prensión manual en tareas de miembro superior	Sedestación y emplea realidad virtual
GENTLE/G	Clínico	Pasivo Asistido Activo Corrección de trayectoria	Hombro: flexo-extensión, abducción y aducción. Codo: Flexo-extensión Mano: prensión	Prensión manual en tareas de miembro superior	Sedestación y emplea realidad virtual

DISCUSIÓN

Los investigadores *Crosbie* y otros realizaron un ensayo clínico con 18 personas que habían sufrido un ictus. Evaluaron la efectividad de la terapia de realidad virtual mediada en comparación con la fisioterapia convencional en la rehabilitación motora del brazo. En su ensayo aleatorio obtuvieron como principal resultado que la aplicación de terapia de realidad virtual no demostró una mejora significativa en la recuperación motora frente a los pacientes que no la utilizaron.⁽¹⁴⁾

Una de las limitaciones del ensayo fue lo reducido del tamaño de la muestra. Los autores señalan que para un ensayo principal se requerirían por lo menos 78 participantes (39 por grupo).

Sin embargo, *Cameirao* y otros llevaron a cabo un estudio en pacientes en fase aguda postictus tratados con el sistema de realidad virtual *Rehabilitation Gaming System*®, que demostró que la administración de un programa intensivo de rehabilitación con realidad virtual durante al menos 3 meses como complemento del tratamiento de la terapia ocupacional habitual puede servir para acelerar la recuperación motora del miembro superior afectado por parálisis.⁽¹⁵⁾

Saposnik G y otros pusieron de relieve en su trabajo de revisión el valor potencial y la seguridad de los juegos de realidad virtual (RV) como herramienta para la rehabilitación motora. Concluyeron que el juego de RV en la rehabilitación era un tratamiento no

contrastado y que se necesita mucha más evidencia con estudios aleatorizados y bien diseñados.⁽¹⁶⁾

El sistema de RV está formado por un sistema interactivo de rehabilitación y ejercicio que utiliza tecnología inmersiva de control de gestos de video para colocar a los pacientes en entornos virtuales de deporte o de juego donde se guían a través de regímenes de ejercicios terapéuticos prescritos por el médico.

Los clínicos pueden diseñar un programa de ejercicios interactivo y divertido que pruebe articulaciones únicas, movimientos combinados de las articulaciones o función del cuerpo completo. En esta terapia de realidad virtual los pacientes están inmersos en un mundo virtual de cuerpo completo donde pueden interactuar con imágenes y objetos en pantalla, diseñados para mejorar el sentido de "presencia" para el paciente. La retroalimentación visual y auditiva en tiempo real estimula al paciente y da como resultado una mejor motivación y esfuerzo en los ejercicios de rehabilitación.

Los autores señalan la importancia de generar evidencia sobre este tratamiento para implementar la realidad virtual como una terapia que representa una alternativa segura, factible y potencialmente eficaz para facilitar la terapia de rehabilitación y promover la recuperación motora después del accidente cerebrovascular.

En esta misma línea de investigación existen antecedentes en el estudio elaborado por *Broeren J* y otros analizaron la aplicación de la realidad virtual como estrategia y su utilidad para evaluar y entrenar a pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular.⁽¹⁷⁾ Los autores exponen que los sistemas de RV pueden colocarse para su utilización terapéutica en los hogares de los pacientes. Los investigadores destacaron las ventajas de utilizar entornos virtuales porque son una oportunidad para el disfrute del paciente y la retroalimentación instantánea del sistema.

Otros autores señalan cómo el juego en escenarios de RV puede mejorar los niveles de motivación, lo cual impacta positivamente en la rehabilitación del paciente.^(18,19,20)

Los investigadores prevén que el próximo paso en los estudios sobre la realidad virtual en la neurorrehabilitación debe ser transferir los experimentos del laboratorio a la clínica habitual. Por tanto, deben conocerse los sistemas de bajo costo para la distribución de estas herramientas virtuales. Subrayan el poder que tiene la realidad virtual para realizar una evaluación cinemática.

Merians AS y otros, investigaron la efectividad de la terapia de RV en la rehabilitación motora de la mano hemiparética de los pacientes *postictus* al utilizar un sistema que proporcionaba una reeducación motora repetitiva y la readquisición de habilidades y destreza manual.⁽²¹⁾ Los autores realizaron un ensayo clínico con 8 pacientes en la fase crónica *postictus*, quienes participaron con su mano hemiparética en una serie de juegos de computadora interactivos durante 13 días de entrenamiento.

Cada uno entrenó de 2 a 2,5 horas diarias. Los resultados consistieron en cambios en las medidas computarizadas de la amplitud de movimiento del pulgar y del dedo, la velocidad del pulgar y del dedo, el fraccionamiento (la capacidad de mover los dedos independientemente), la fuerza del pulgar y los dedos, el *Jebson Test of Hand Function* y una prueba de alcance cinemático.

Los investigadores lograron que los pacientes mejoraran la movilidad flexo-extensora de los dedos, la amplitud de movimiento y la velocidad del pulgar. Mantuvieron esa mejoría en la prueba de retención de una semana.

La transferencia de estas mejoras se demostró mediante cambios en el *Jebsen Test of Hand Function* y una disminución después de la terapia en el tiempo total, desde la velocidad pico de la mano hasta el momento en que un objeto fue levantado de la mesa. Los autores apuntaron que con los modelos actuales de prestación de servicios fue complicado proporcionar la intensidad de la práctica que parece ser necesaria para efectuar la reorganización neural y los cambios funcionales *postictus*. Vale destacar que los sistemas computarizados de ejercicios pueden ser una forma de maximizar el tiempo de los pacientes y de los clínicos.^(16,17,18)

En el estudio de *Piron L* y otros, se demostró que el programa de ejercicios interactivos produjo efectos positivos en la recuperación del movimiento de los dedos y de la función motora de la mano. Estos hallazgos son coherentes con otras investigaciones que han evaluado la eficacia de los parámetros configurables del sistema, como por ejemplo, la velocidad y el nivel de precisión que permitió la correcta ejecución de los ejercicios de rehabilitación.⁽²²⁾

Además, los autores destacaron el carácter motivante de la terapia virtual que permitió a los pacientes disfrutar de los juegos virtuales. Por otra parte, cabe señalar la especificidad de la formación de la realidad virtual como un componente importante en la terapia rehabilitadora que dependía de la calidad y cantidad de retroalimentación (contacto dedo-objeto y deslizamiento) para la ejecución de la tarea.^(22,23)

Cada vez aumenta más la inclusión de la realidad virtual con los sistemas robóticos como medios para la implementación de *feedback*, sobre todo sensorial.^(5,24,25) Algunas investigaciones en esta línea, como la de *Rodríguez-Prunotto L* y otros, revelan que la implementación de la realidad virtual con la terapia de dispositivos robóticos aporta beneficios significativos en el ámbito motivacional y en la mejora del nivel de implicación del tratamiento por parte del paciente. Como consecuencia, se produce un incremento de su retroalimentación, mayoritariamente a nivel visual.⁽¹²⁾

Otro aspecto a tomar en cuenta en la aplicación de sistemas de realidad virtual junto con dispositivos robóticos en la rehabilitación de pacientes *postictus*, es que muchos de estos dispositivos tienen mecanismos de asistencia en el soporte antigravitatorio para el miembro superior afectado. Esta ventaja mecánica produce en la terapia rehabilitadora una mejoría significativa del área de entrenamiento físico y motor de la mano, principalmente en las tareas de alcance.^(26,27,28) Esto supone un aumento en las posibilidades terapéuticas para la rehabilitación motora del miembro superior.

Otro asunto a considerar cuando se usen los sistemas de realidad virtual en la terapia rehabilitadora, es el hecho de que permite integrar dispositivos para obtener y guardar datos de información objetiva sobre el desarrollo de las tareas motoras ejecutadas y registrar el estado del paciente, con la importancia que esto conlleva en las futuras reevaluaciones y gestión de estudios. Además, esta es una herramienta muy importante para valorar su eficacia. Ofrece la posibilidad de hacer mediciones y estudios específicos de biomecánica del paciente.⁽²⁹⁾

Diversos autores advierten que el uso y aplicación de estas nuevas tecnologías sería un riesgo perjudicial durante la rehabilitación motora por la pasividad que provoca en los pacientes y la dependencia que hace el paciente del sistema.⁽³⁰⁾ En este sentido, se debería trabajar en mejorar la creación de interfaces y sistemas para detectar de manera más objetiva y real la propia actividad funcional que ejecuta el paciente.

En algunos estudios se alude a que el tiempo de tratamiento con dispositivos virtuales es más prolongado que el realizado con terapias más convencionales. Varios autores opinan que esto puede generar una sobreestimación de los beneficios obtenidos con esta nueva tecnología.⁽³¹⁾

Una de las limitaciones de este artículo de revisión es que en la estrategia de búsqueda, el idioma ha sido un criterio de inclusión, pues solo se han considerado las investigaciones publicadas en inglés y español. Podría ser relevante revisar los artículos publicados sobre el tema en países orientales, donde cada día se desarrollan más las nuevas tecnologías.

Resulta importante aclarar que se trabajó con el material puesto a disposición en las bases de datos y biblioteca de la Universidad de Almería de forma gratuita. Esto pudo haber provocado que determinadas publicaciones quedasen fuera del marco de búsqueda planteado.

CONCLUSIONES

La neurorrehabilitación evoluciona a la par de la tecnología. Cada vez la medicina y los ingenieros tratan de adaptar los avances en ambos campos para integrarlos en sistemas virtuales y dispositivos robóticos útiles para rehabilitar distintas partes del cuerpo de los pacientes afectados.

Los investigadores se refieren a la eficacia de un enfoque terapéutico basado en el reaprendizaje motor orientado a tareas y que estimule el potencial de neuroplasticidad del sistema nervioso central. Sin embargo, se deben incorporar terapias que hagan uso de la robótica y la realidad virtual en este sentido.

De esta manera la rehabilitación del paciente puede ser más integral y eficaz en comparación con los tratamientos basados exclusivamente en los enfoques de facilitación. Resulta esencial facilitar la accesibilidad del clínico rehabilitador a estas nuevas tecnologías y realizar futuros ensayos clínicos que determinen la evidencia de su eficacia real en la rehabilitación.

Conflicto de intereses

El autor declara que no firmó ningún acuerdo por el que recibiera beneficios u honorarios y que ninguna entidad comercial pagó a fundaciones, instituciones educativas u otras organizaciones sin ánimo de lucro a las que está afiliado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ramos Perdigués S, Mané Sanataca A, Pintor Pérez L. Revisión sistemática de la prevalencia y factores asociados a la ira tras un ictus. Rev Neurol. 2015; 481-89. Disponible en: <https://medes.com/publication/99941>
2. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Estrategia en ictus del Sistema Nacional de Salud 2008. [citado 18/12/2014]. Disponible en: http://www.semg.es/doc/documentos_SEMG/estrategias_ictus_SNS.pdf

3. Murie-Fernández M, Irimia P, Martínez-Vila E, Meyer MJ y Teasell R. Neurorrehabilitación tras el ictus. Neurología. 2010; 25(3): 189-96. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213485310700086>
4. Nakayama H, Jorgensen HS, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of upper extremity function in stroke patients: The Copenhagen stroke study. Arch Phys Med Rehabil. 1994; 75: 852-7. Available from: [https://www.archives-pmr.org/article/0003-9993\(94\)90108.../pdf](https://www.archives-pmr.org/article/0003-9993(94)90108.../pdf)
5. Bayón-Calatayud M, Gil-Agudo A, Benavente-Valdepeñas AM, Drozdowskyj-Palacios O, Sánchez-Martín G y del Álamo-Rodríguez MJ. Eficacia de nuevas terapias en la neurorrehabilitación del miembro superior en pacientes con ictus. Rehabilitación. 2014; 48(4): 232-40. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048712013001163>
6. Bayón M, Martínez J. Rehabilitación del ictus mediante realidad virtual. Rehabilitación (Madr). 2010; 44: 256-60. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048712010000514>
7. Lum PS, Godfrey SB, Brokaw EB, Holley RJ, Nichols D. Robotic approaches for rehabilitation of hand function after stroke. AmJ Phys Med Rehabil. 2012; 91: 242-54. Available from: https://journals.lww.com/ajpmr/Abstract/2012/11003/Robotic_Approaches_for_Rehabilitation_of_Hand.5.aspx
8. Masiero S, Armani M, Rosati G. Upper-limb robot-assisted therapy in rehabilitation of acute stroke patients: Focused review and results of new randomized controlled trial. J Rehabil Res Dev. 2012; 48: 355-66. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/703a/b11eb7d2da210bb7dee71a25e825647c2253.pdf>
9. Enríquez SC, Narváez Y, Vivas OA, Díez J, Badesa FJ, Sabater JM. Sistema robótico de tipo exoesqueleto para rehabilitación de la mano. In: XXXV Jornadas de Automática. In: XXXV. Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC). 2014; 44. Disponible en: <http://www.unicauca.edu.co/ai/publicaciones/Samara.pdf>
10. Levels of evidence and grades of recommendation. Oxford Center for evidence-based Medicine [citado 27/02/2017]. Available from: <http://www.cebm.net/oxford-centre-evidence-based-medicine-levels-evidence>
11. Ayala-Lozano JF, Urriolagoitia-Sosa G, Romero-Ángeles B, Migue TS, René C, Aguilar-Pérez L, et al. Mechanical design of an exoskeleton for upper limb rehabilitation. Rev Colomb Biote. 2015; 17(1): 79-90. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752015000100011
12. Rodríguez-Prunotto L, Cano-de la Cuerda R, Cuesta-Gómez A, Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F. Terapia robótica para la rehabilitación del miembro superior en patología neurológica. Rehabilitación. 2014; 48(2): 104-28. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4803091>
13. Crosbie JH, Lennon S, McGoldrick MC, McNeill MD, McDonough SM. Virtual reality in the rehabilitation of the arm after hemiplegic stroke: A randomized controlled pilot study. Clin Rehabil. 2012; 26: 798-806. Available from:

https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Crosbie+JH%2C+Lennon+S%2C+McGoldrick+MC%2C+McNeill+MD%2C+McDonough+SM.+Virtual+reality+in+the+rehabilitation+of+the+arm+after+hemiplegic+stroke%3A+A+randomized+controlled+pilotstudy.+Clin+Rehabil.+2012%3B26%3A798-806.&btnG=

14. Cameirao MS, Bermúdez I, Badia S, Duarte E, Verschure PF. Virtual reality based rehabilitation speeds up functional recovery of the upper extremities after stroke: A randomized controlled pilot study in the acute phase of stroke using the rehabilitation gaming system. *Restor Neurol Neurosci*. 2011;29:287-98. Available from: <https://content.iospress.com/articles/restorative-neurology-and-neuroscience/rnn599>

15. Saposnik G, Teasell R, Mamdani M, Hall J, McIlroy W, Cheung D, et al. Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation. A pilot randomized clinical trial and proof of principle. *Stroke*. 2010;41:1477-84. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4879973/>

16. Broeren J, Rydmark M, Bjorkdahl A, Sunnerhagen KS. Assessment and training in a 3-dimensional virtual environment with haptics: A report on 5 cases of motor rehabilitation in the chronic stage after stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2007;21:180-9. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1545968306290774>

17. Weiss P, Rand D, Katz N, Kizony R. Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool. *J Neuroengineering Rehabil*. 2004;1(1):12. Available from: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Weiss+P%2C+Rand+D%2C+Katz+N%2C+Kizony+R.+Video+capture+virtual+reality+as+a+flexible+and+effective+rehabilitation+tool.+J+Neuroengineering+Rehabil.+2004%3B1%281%29%3A12.&btnG=

18. Rizzo AA, Kim GJ. A SWOT analysis of the field of virtual rehabilitation and therapy. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 2005;14(2):119-46. Available from: <https://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/1054746053967094>

19. Rizzo AA, Strickland D, Bouchard S. The challenge of using virtual reality in telerehabilitation. *Telemed J E Health* 2004;10(2):184-95. Available from: <https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/tmj.2004.10.184>

20. Merians AS, Poizner H, Boian R, Burdea G, Adamovich S. Sensorimotor training in a virtual reality environment: Does it improve functional recovery poststroke? *Neurorehabil Neural Repair*. 2006;20:252-67. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1545968306286914>

21. Piron L, Tonin P, Piccione F, Iaia V, Trivello E, Dam M. Virtual environment training therapy for arm motor rehabilitation. *Presence*. 2005;14:732-40. Available from: <https://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/105474605775196580>

22. Zatsiorsky VM, Gao F, Latash ML. Motor control goes beyond physics: differential effects of gravity and inertia on finger forces during manipulation of hand-held objects. *Exp Brain Res* 2005;162:300-8. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00221-004-2152-2>

23. 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. 2012 IEEE 14th International Conference on e-Health Networking, Applications

and Services (Healthcom). 2012: 190-5. Available from:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6379398>

24. Bayón M, Martínez J. Rehabilitación del ictus mediante realidad virtual. *Rehabilitación (Madr)*. 2010; 44: 256-60. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048712010000514>

25. Cano de la Cuerda R, Collado-Vázquez S. *Neurorrehabilitación: métodos específicos de valoración y tratamiento*. Madrid: Médica Panamericana; 2012. Disponible en:
<https://www.medicapanamericana.com/Libros/Libro/4452/Neurorrehabilitacion.html>

26. Sánchez R, Reinkensmeyer D, Shah P, Liu J, Rao S, Smith R, et al. Monitoring functional arm movement for home-based therapy after stroke. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2004; 2: 4787-90. Available from:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1404325>

27. Sánchez 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. Available from:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1703570>

28. 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. Available from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003999302000114>

29. 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*. 2013; 7: 52-60. Available from:
<https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-7-52>

30. 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. Available from:
<https://go.galegroup.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&u=googlescholar&v=2.1&it=r&id=G ALE%7CA472268476&sid=classroomWidget&asid=f2c8a65d>

Recibido: 16/11/2017
Aceptado: 09/12/2018

Marcos Martínez Pino Universidad de Almería. Almería, España. Correo electrónico:
marcospino75@hotmail.com