

Aplicaciones de la realidad virtual en la rehabilitación de pacientes con esclerosis múltiple*

BENITO PEÑASCO-MARTÍN¹, ÁNGEL GIL-AGUDO¹, IRIS DIMBWADYO-TERRER¹, ANA DE LOS REYES-GUZMÁN¹, ALBERTO BERNAL-SAHÚN², PATRICIA LÓPEZ-MONTEAGUDO²

¹Unidad de Biomecánica y Ayudas Técnicas. Hospital Nacional de Paraplégicos. SESCAM. Toledo.

²Indra Sistemas.

RESUMEN. La realidad virtual (RV) es una tecnología novedosa y con un gran potencial en el campo de la rehabilitación de patologías de origen neurológico. En las dos últimas décadas se han desarrollado una gran cantidad de plataformas de rehabilitación que intentan aprovechar las ventajas que ofrece esta tecnología. El objetivo de este trabajo es revisar las principales experiencias en la aplicación de la RV a la rehabilitación, centrándonos en aquellas diseñadas específicamente para la rehabilitación de la Esclerosis Múltiple (EM). La RV es a día de hoy una herramienta con una gran proyección y un futuro prometedor en la rehabilitación de patologías de origen neurológico, aunque son necesarios estudios clínicos que avalen su eficacia frente a las técnicas de rehabilitación tradicionales.

Palabras clave: esclerosis múltiple, tratamiento, rehabilitación, realidad virtual.

ABSTRACT. Virtual reality (VR) is a novel technology with great potential in the field of rehabilitation of neurological pathologies. In the last two decades, numerous rehabilitation platforms have been developed trying to achieve the benefits of this technology. The aim of this paper is to review the main experiences in the application of VR to rehabilitation, focusing on those designed specifically for the rehabilitation of Multiple Sclerosis (MS). VR is nowadays a tool with great projection and a promising future in the rehabilitation of neurological pathologies, however clinical studies are needed to demonstrate its effectiveness as compared to the traditional techniques.

Key words: multiple sclerosis, treatment, rehabilitation, virtual reality.

Los síntomas derivados de la esclerosis múltiple (EM), tales como debilidad muscular, espasticidad, déficits visuales y cognitivos, etc. van a suponer una importante limitación para el paciente a la hora de realizar diferentes actividades de la vida diaria (AVD)¹.

Para minimizar estas limitaciones funcionales y mejorar en la medida de lo posible la calidad de vida de los pacientes con EM, la rehabilitación es un factor clave, pero el éxito de dicha rehabilitación dependerá de factores como la duración y la intensidad de la misma. Puesto que la duración de las sesiones de rehabilitación va a estar limitada por el tiempo que un terapeuta puede dedicar a cada uno de sus pacientes, es necesario desarrollar nuevas modalidades terapéuticas que puedan seguir los pacientes de forma autónoma¹.

Recientemente, estamos asistiendo a la introducción de numerosos dispositivos basados en realidad virtual (RV) y dispositivos robóticos como una de las novedades más relevantes en la rehabilitación tanto física como psíquica de enfermedades neurológicas en general, y de la EM en particular.

La RV es una simulación de un entorno real generada por ordenador en la que, a través de una interfaz hombre-máquina, se va a permitir al usuario interactuar con ciertos elementos dentro del escenario simulado. El uso de aplicaciones basadas en RV como complemento a la terapia conlleva una serie de ventajas, entre ellas, que el paciente recibe un *feedback* sensorial en tiempo real, necesario para el aprendizaje motor y para que tengan lugar los cambios corticales que lo originan², que las sesiones de terapia son más motivadoras y amenas, ya que éstas se enfocan como un videojuego², y que es posible controlar de forma precisa y repetible cada una de las sesiones, adaptando tanto los niveles de dificultad como las interfaces a las necesidades del usuario.

En algunos casos se emplean dispositivos robóticos de forma conjunta con estos entornos virtuales; esta combinación nos aporta ventajas adicionales, como la posibilidad de proporcionar un *feedback* táctil al paciente (dispositivos hápticos), facilitar sus movimientos soportando parte del peso de sus ex-

*Agradecemos a la Fundación del Hospital Nacional de Paraplégicos de Toledo para la Investigación y la Integración (FUHNPAIIN), a la Fundación Rafael del Pino y a Indra Sistemas su apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

tremidades superiores o introducir restricciones para aumentar el nivel de dificultad.

Aparte de las ventajas ya mencionadas, estos dispositivos nos van a dar la posibilidad de monitorizar en todo momento el desempeño del usuario de manera objetiva, eliminando el criterio del evaluador como fuente de error³, y permitiendo a los profesionales sanitarios seguir su evolución a lo largo de las sesiones de terapia. Además, esta monitorización y objetivación va a dar pie al desarrollo de plataformas de tele-rehabilitación, en las que los usuarios puedan realizar la rehabilitación en su propio domicilio, siendo supervisados por personal sanitario⁴.

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión sobre el estado del arte en el campo de la rehabilitación mediante RV, centrándonos en aquellas experiencias que han sido aplicadas a la EM. Para ello, en primer lugar, se presentarán una serie de experiencias dentro del ámbito genérico de la neuro-rehabilitación y, a continuación, la revisión se centrará en aquellos dispositivos que se han aplicado en pacientes con EM.

❑ Sistemas de RV aplicados en neuro-rehabilitación

Dentro de amplio ámbito de la neuro-rehabilitación existen una serie de sistemas de rehabilitación basados en RV que, a pesar de no haber sido aplicados a la EM, son dignos de mención. La mayoría de estos sistemas se han centrado en el ictus por ser una patología con una incidencia alta y que presenta secuelas susceptibles de ser rehabilitadas, aunque también existen experiencias con otras patologías, como la lesión medular o la enfermedad de Parkinson, por ejemplo.

Debido a su corta vida (la gran mayoría de experiencias de aplicación de la RV a la rehabilitación datan de la última década) y al haber sido en su mayor parte desarrollados en entornos universitarios, en los cuales es más complicado realizar estudios con pacientes, la mayor parte de estos sistemas no se han aplicado a patologías diferentes de aquellas para las cuales fueron concebidos, aun teniendo potencial para ello.

A continuación, se presentan las experiencias más relevantes con sistemas de RV que se han utilizado en pacientes con otros trastornos neurológicos y, si bien, hasta ahora no se han aplicado directamente en pacientes con EM, nada contradice su posible aplicación en este grupo de pacientes.

Un grupo del Instituto Tecnológico de Massachusetts fue el pionero en la aplicación de la RV a la neuro-rehabilitación de pacientes con ictus⁵. A finales de los noventa este grupo desarrolló un sistema basado en el concepto de “aprendizaje por imitación”,

en el que un profesor virtual realiza los movimientos que posteriormente debe imitar el paciente. Este grupo publicó un primer estudio en el año 1999 cuyo objetivo era determinar si la RV era una herramienta válida para la rehabilitación del ictus⁶. En este estudio participaron dos únicos pacientes, que realizaron 16 sesiones de terapia de una hora una o dos veces por semana. Ambos participantes mostraron progresos significativos según el test de Fugl-Meyer⁷.

Posteriormente este mismo grupo ha analizado con mayor profundidad la generalización de las habilidades adquiridas en el entrenamiento en entornos virtuales a actividades similares en entornos reales. Para ello se realizó un estudio con siete sujetos que siguieron un programa de rehabilitación con treinta sesiones de una hora de duración (tres sesiones por semana). Los pacientes entrenaron dos movimientos en un escenario virtual, el primero de ellos era un alcance en el plano sagital mientras que el segundo era un movimiento de alcance, pero esta vez hacia el lado afecto del paciente. Para entrenar estos movimientos se usaron diferentes escenarios virtuales, uno de ellos, por ejemplo, consiste en un buzón en el que los pacientes debían introducir un sobre, para entrenar los diferentes movimientos se variaba tanto la posición del buzón en el entorno virtual como la inclinación de la ranura. Además de la transferencia de las habilidades entrenadas a entornos reales, la evolución de los pacientes se midió mediante el test de Fugl-Meyer⁷ y el Wolf Motor Test⁸ para extremidades superiores. Cinco de los siete participantes mostraron claras evidencias de generalización de las capacidades adquiridas con el entrenamiento a otros entornos, mientras que los siete obtuvieron resultados significativamente mayores en los dos tests funcionales^{2,9,10}.

Otro de los grupos de investigación que más ha trabajado en el desarrollo de plataformas de rehabilitación basadas en RV es el de la Universidad Rutgers (New Jersey, EE.UU.), centrándose en el tratamiento del ictus, y más concretamente en las alteraciones motoras de la mano, aunque también han trabajado en la rehabilitación del brazo y de las extremidades inferiores.

Para la rehabilitación de la mano este grupo utiliza dos equipos diferentes como interfaz entre el paciente y el entorno virtual; el primero es el guante instrumentado CyberGlobe® (Figura 1), que permite monitorizar la posición de la mano para obtener datos cinemáticos, y el segundo es el Rutgers Master II¹¹, que también es un guante instrumentado, pero que a diferencia del primero permite monitorizar la fuerza ejercida por cada uno de los dedos y proporcionar un *feedback* háptico al usuario. La efectividad del sistema se probó en un estudio con 8 sujetos, tratados durante tres semanas, con un total de 13 sesio-

nes de entre 2 y 2,5 horas cada una. En estas sesiones se entrenaban 4 diferentes parámetros: el rango de movimiento de los dedos, la velocidad de movimiento de los mismos, el fraccionamiento (capacidad de mover los dedos de forma independiente) y la fuerza¹². Para evaluar la evolución de los pacientes, se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos los dos primeros y los dos últimos días al entrenar los cuatro parámetros mencionados; además se realizó una valoración funcional de cada uno de los pacientes mediante el test de Jebsen¹³ y una prueba para comprobar la transferencia de habilidades al mundo real¹⁴ (Figura 1).

En cuanto a la rehabilitación del brazo, el grupo de la Universidad Rutgers ha desarrollado otro sistema basado en RV, el *Rutgers Arm*¹⁵. El *Rutgers Arm* está compuesto por una mesa con un reposabrazos diseñada específicamente para esta aplicación, el equipo de captura de movimiento basado en sensores electromagnéticos *Polhemus Fastrak*¹⁶ y un PC encargado de recibir y procesar la información registrada por los sensores. Han desarrollado dos juegos terapéuticos; el primero de ellos es una representación virtual de la mesa de trabajo, en la cual aparece una bola que hay que llevar hasta un determinado objetivo siguiendo la trayectoria indicada por la aplicación. Existen diferentes configuraciones bola-objetivo con el fin de entrenar diferentes movimientos. El segundo de los juegos pretende mejorar la coordinación entre la vista y el movimiento del brazo, así como reducir el tiempo de reacción; para ello se ha adaptado el conocido juego *Arcade Breakout*, consistente en romper una serie de bloques situados en la parte superior de la pantalla con una bola; con el movimiento de su propio brazo el paciente controla una pala situada en la parte inferior de la pantalla y debe evitar que la bola caiga. Se ha realizado un estudio piloto con el fin de probar este equipo; para ello, un único paciente ha seguido un tratamiento rehabilitador a lo largo de 5 semanas, con 3 sesiones por semana. Las 4 primeras semanas las sesiones se realizaron de manera presencial, mientras que la última el paciente realizó las sesiones en su propio domicilio, mediante telerrehabilitación¹⁷. Para valorar la evolución del paciente se realizó el test de Fugl-Meyer⁷ antes y después de las 12 sesiones de terapia presenciales, obteniendo una mejora de siete puntos en la valoración del miembro rehabilitado y de cuatro puntos en el rango de movimiento del hombro.

Más recientemente este grupo ha implementado una versión de este equipo, el *Rutgers Arm II*¹⁸; en él se ha cambiado la tecnología de captura de movimiento, pasando de sensores electromagnéticos a marcadores ópticos, lo que permite mayor libertad de movimiento a los pacientes al poder prescindir



Figura 1 Guante instrumentado CyberGlobe®.

del cableado de los sensores. La mesa se ha sustituido por una reclinable, que permite aumentar el grado de dificultad de las tareas, y se ha añadido un nuevo juego terapéutico, “La caza del tesoro”, destinado a mejorar la velocidad, la resistencia y la fuerza de agarre¹⁹. Esta nueva versión ha sido probada en un estudio piloto con cuatro sujetos con ictus en estado crónico (entre 6 meses y 5 años de evolución). Los cuatro pacientes siguieron un programa de rehabilitación de 12 sesiones de media hora a lo largo de 4 semanas. Los 4 sujetos presentaron una mejora de entre uno y siete puntos en el test de Fugl-Meyer tras finalizar la rehabilitación; además se observó un aumento de entre el 156% y el 307% en el área de la mesa que los pacientes eran capaces de alcanzar²⁰.

Para la rehabilitación de las extremidades inferiores, este grupo ha desarrollado el *Rutgers Ankle*, que consiste en una plataforma que proporciona seis grados de libertad y puede generar fuerzas que se oponen al movimiento del pie del paciente. Para que el sujeto realice las tareas repetitivas necesarias para la rehabilitación se han desarrollado dos juegos; en uno de ellos, el paciente controla un avión con el movimiento de su pie y debe guiarlo a través de unas ventanas que van apareciendo en pantalla; en el segundo, controla una lancha y el objetivo es ir esquivando boyas. Este sistema ha sido probado en un estudio piloto con tres pacientes. Todos ellos mostraron un aumento en la fuerza generada al realizar los movimientos, así como en la velocidad de la marcha²¹.

Más recientemente han realizado una modificación al *Rutgers Ankle* para que pueda aguantar pesos mayores y, así, mediante el uso de dos plataformas, utilizarlo para rehabilitación de la marcha²². Este sistema ha sido utilizado para estudiar cómo afecta la percepción de estímulos visuales y hápticos a la sensación de realismo en un entorno virtual, pero no se ha realizado ningún estudio para evaluar su potencial en el campo de la rehabilitación²³.

Un equipo de las universidades de Hadaza y Haifa (Israel) ha desarrollado un sistema de rehabilitación para la mejora del equilibrio, aunque en este caso la patología objetivo es la lesión medular. El sistema utiliza un equipo comercial de RV, el GestureXtreme de la empresa GestureTek²⁴, en el cual se captura el movimiento del usuario mediante cámaras de vídeo. Para comprobar la efectividad del sistema se realizó una prueba piloto con 5 lesionados medulares, y posteriormente se realizó un estudio más completo con 13 sujetos, de los cuales 12 tenían nivel de lesión entre las vértebras T3 y L2, y uno con cuadro de cauda equina²⁵. Los resultados obtenidos por el grupo de pacientes se compararon con los de un grupo de 12 sujetos sanos. En las sesiones de terapia se usaron tres diferentes entornos virtuales. En los dos primeros entornos el sujeto debe alcanzar una serie de objetivos que van apareciendo en la pantalla (en un caso son balones que debe parar; y en otro, bolas que debe alcanzar). En el tercer escenario el paciente puede verse haciendo *snowboard*, y debe inclinarse hacia un lado u otro para evitar los obstáculos que se va encontrando. El estudio compara los resultados obtenidos por los pacientes con los del grupo control, y los correlaciona con el resultado de dos test funcionales de alcance^{26, 27}, pero no especifican el número de sesiones realizadas por los pacientes ni su duración²⁵.

Otro sistema aplicado a la rehabilitación de la lesión medular es el denominado Toyra (Figura 2), desarrollado por el Hospital Nacional de Paraplégicos (Toledo, España), la empresa Indra Sistemas y con el apoyo de la Fundación Rafael del Pino. Toyra cuenta con tres tipos de sesiones de terapia interactiva: sesión de evaluación (cuyo objetivo es evaluar la capacidad funcional del paciente para proporcionar datos objetivos sobre su estado actual y así poder seguir la evolución de su patología), sesión de actividades de la vida diaria (AVD) (que tiene como objetivo que el paciente adquiera el máximo grado de autonomía posible mediante el entrenamiento de diversas actividades de la vida diaria) y sesión de conducción de silla de ruedas (su fin es entrenar a los pacientes en el manejo de sillas de ruedas eléctricas)²⁸. El sistema se ha probado en un estudio piloto con 10 pacientes con lesión medular a nivel cervical entre la quinta y la octava vértebra, 5 de ellos usaron Toyra como complemento a las sesiones de terapia clásica, mientras que los otros 5 formaron parte de un grupo control que únicamente siguió las sesiones de terapia convencional. Los pacientes del grupo intervención realizaron un total de 15 sesiones de AVDs de unos 30 minutos de duración a lo largo de 5 semanas. Los pacientes de ambos grupos realizaron el primer y el último día del estudio una sesión de evaluación con Toyra, ade-



Figura 2 Representación de una sesión TOYRA. Se aprecia el movimiento del paciente y su correspondencia con el movimiento por parte del avatar en el entorno virtual.

más de ser evaluados con una batería de escalas con el fin de contrastar los resultados (Barthel²⁹, FIM³⁰, SCIM-II³¹, Nine Hole Peg Test³², Índice Motor³³ y Jebsen-Taylor¹³). Al analizar los resultados se encontraron mejoras significativas para los paciente tratados con Toyra en el sub-test 5 del Jebsen-Taylor, que valora la destreza manipulativa, la coordinación y la pinza fina³⁴ (Figura 2).

Un grupo de investigadores de la Universidad de Washington ha estado trabajando en un sistema de realidad aumentada aplicable a la rehabilitación de pacientes con Parkinson. Este sistema tiene como objetivo mitigar la akinesia asociada a la enfermedad de Parkinson sin necesidad de medicación; para ello aprovecha el fenómeno denominado kinesia paradójica, el cual afecta algunos pacientes que son incapaces de andar, pero paradójicamente pueden dar pasos en presencia de pistas visuales colocadas en su camino. El sistema consiste en un visor con lentes de cristal líquido que permite superponer pistas virtuales sobre el suelo real. El prototipo se ha probado en varios pacientes, aunque los artículos no dan datos específicos sobre los resultados obtenidos^{35, 36}.

❑ Sistemas de RV aplicados a la rehabilitación de la EM

La EM es una de las patologías de origen neurológico que más frecuentemente presenta secuelas susceptibles de ser rehabilitadas. A continuación se presentan las experiencias más relevantes de la aplicación de la RV a la rehabilitación de la EM.

Un equipo de investigadores de las universidades de Hasselt (Bélgica) y Maastricht (Países Bajos) ha desarrollado un sistema de rehabilitación que utiliza como interfaz con el paciente el dispositivo háptico

comercial PHANTOM (SensAble Technologies)³⁷. El paciente tiene que ejecutar una serie de tareas en el entorno virtual manipulando el PHANTOM: controlar la trayectoria de un coche, manipular objetos o alcanzar objetivos lo más rápido posible. Durante la realización de las mismas, el dispositivo proporciona al usuario un *feedback* táctil al mismo tiempo que registra datos de fuerza, orientación, posición, velocidad, así como contactos/colisiones en el entorno virtual. Este sistema se ha probado en un estudio piloto con un grupo de 21 pacientes con EM y un grupo control formado por 10 sujetos sanos. El objetivo de este estudio era evaluar la correlación existente entre los diferentes parámetros medidos y una serie de escalas clínicas (9 Hole Peg Test³², ARAt³⁸, TEMPA³⁹). Los resultados del estudio mostraron una correlación significativa entre varios de los parámetros registrados por el sistema y las escalas clínicas de valoración¹.

Un grupo de Haifa (Israel) ha aplicado a la mejora de la marcha en pacientes con EM una variedad de la RV, la realidad aumentada, consistente en la superposición de elementos virtuales sobre el entorno real. Teniendo en cuenta que los pacientes que sufren ataxia usan habitualmente pistas visuales para mantener el equilibrio, así como los buenos resultados obtenidos en experiencias previas al utilizar pistas visuales para mejorar la marcha de pacientes con Párkinson⁴⁰, estos investigadores han desarrollado un visor que permite superponer pistas virtuales sobre el suelo real, y que además cuenta con acelerómetros, que se usan para responder a los movimientos del paciente estabilizando las pistas y dando una mayor sensación de realismo. En un primer estudio se ha probado la eficacia del dispositivo con 16 sujetos con EM y un grupo control formado por 12 individuos sanos, observándose mejoras tanto en la velocidad como en la longitud de la zancada del grupo de pacientes, mientras que los miembros del grupo control no mostraron mejoras⁴¹. En un segundo estudio con este dispositivo han comparado el efecto que tienen diferentes tipos de pistas visuales sobre la marcha de 21 pacientes con EM. A 10 de ellos se le mostraron como pistas virtuales un conjunto de líneas transversales paralelas (simetría respecto al plano sagital del paciente) mientras que con los 11 restantes se utilizó como pista un suelo de baldosas blancas y negras (pistas asimétricas respecto al plano sagital). Los resultados del estudio mostraron una mejora de un $7,79\% \pm 4,24\%$ en la velocidad de la marcha y de un $7,20\% \pm 3,92\%$ en la longitud de la zancada en el grupo de pacientes que utilizó como pistas las líneas transversales paralelas, mientras que el grupo que utilizó como pistas visuales las baldosas asimétricas mostró una mejora de un $21,09\% \pm 18,39\%$ en la ve-

locidad de la marcha, y de un $12,99\% \pm 1,72\%$ en la longitud de la zancada⁴².

En la Universidad Clarkson (Nueva York) han aplicado la RV a la rehabilitación del equilibrio, la marcha y la resistencia. El sistema empleado consta de un tapiz rodante equipado con un sistema de seguridad encargado de soportar el peso del paciente y un entorno virtual dentro del cual el paciente puede desplazarse. Para probar su efectividad se ha probado el sistema en un estudio piloto con un único individuo con EM. La duración del estudio fue de 12 semanas durante las cuales se realizaron 2 sesiones por semana. En cada una de ellas se hizo caminar al sujeto sobre el tapiz tres intervalos de cinco minutos cada uno. Además del entrenamiento en el entorno virtual se hizo recorrer al paciente dentro de la clínica tramos de 25 metros entre cuatro y seis veces por sesión. Para el entrenamiento del equilibrio se usó el equipo comercial IREX de Gesture-Tek²⁴, en el cual el paciente debe inclinarse hacia uno u otro lado para parar balones, alcanzar objetivos o conducir un automóvil en el entorno virtual. Tras concluir las 12 semanas, el paciente mostró mejoras en la velocidad de la marcha, la resistencia y el equilibrio (evaluado mediante el test de Berg⁴³). Para comprobar la consistencia de los resultados se volvió a evaluar al sujeto dos meses después de la última sesión de rehabilitación, observándose valores muy similares⁴⁴.

Un equipo de investigadores de la Universidad de Génova y la fundación Don Gnocchi de Milán han desarrollado un dispositivo robótico para la rehabilitación de las extremidades superiores de pacientes con EM. El entorno virtual desarrollado para trabajar con el dispositivo robótico es muy simple, consiste en un pequeño círculo con una imagen que representa la posición de la mano del paciente y otro círculo que representa el objetivo que el paciente debe alcanzar. El dispositivo robótico permite modificar la dificultad de la tarea mediante el ajuste de la resistencia que el paciente debe vencer. Este sistema se ha probado con un grupo de 6 pacientes con EM; cada uno de ellos realizó 2 sesiones de tratamiento de 40 minutos de duración por semana, a lo largo de un total de 4 semanas. A medida que avanzaban las sesiones de terapia, la dificultad del movimiento se fue aumentando de forma gradual. A pesar del aumento de la dificultad, los 6 pacientes mostraron mejoras significativas en el resultado de las sesiones de terapia⁴⁵.

Un grupo de la Universidad Vita-Salute de Milán ha realizado un estudio con 12 personas con EM y un grupo control de 12 sujetos sanos con el fin de probar la efectividad de la terapia con RV en la rehabilitación de esta patología. Los doce pacientes con EM que participaron en el estudio no presenta-

ban discapacidades graves (resultado por debajo de 6,5 en la escala Expanded Disability Status Scale⁴⁶). El sistema de RV utilizado consiste en una pantalla proyectada en la que aparece un objeto móvil, el paciente debe apuntar con su dedo índice a dicho objeto siguiendo su trayectoria. De forma simultánea se registra el movimiento del dedo índice del sujeto mediante un sensor electromagnético de la empresa Polhemus¹⁶. Los participantes recibían un *feedback* visual en tiempo real, ya que la posición de su dedo era representada en el mismo entorno virtual que el objeto móvil. Se realizó una única sesión con cada uno de los participantes. La evolución se midió en función de la distancia media entre la trayectoria seguida y la trayectoria real del objetivo. Se observó un

aumento de la precisión de más de un 20% en nueve de los miembros del grupo control y en cuatro del grupo con EM⁴⁷.

Conclusiones

La aplicación de la RV a la rehabilitación de patologías neurológicas es cada vez más frecuente debido a las ventajas que presenta, como son la motivación del paciente y la posibilidad de objetivar el resultado de la terapia.

En el caso concreto de la EM, la aplicación de la RV ha sido muy reciente, y la mayoría de las experiencias datan de los últimos 5 años. Aun así, los resultados obtenidos son muy prometedores.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Feys P, Alders G, Gijbels D, De Boeck J, De Weyer T, Coninx K, et al. Arm training in Multiple Sclerosis using Phantom: clinical relevance of robotic outcome measures. 2009 IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics. Kyoto, Japan, June 2009.
- 2.- Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav* 2005;8:187-211.
- 3.- Bardorfer A, Muniñ M, Zupan A, Primožic A. Upper limb motion analysis using haptic interface. *IEEE Trans Mechatronics* 2001;6(3):253-60.
- 4.- Burdea G. The role of haptics in physical rehabilitation. In: Lin and Otaduy Eds. *Haptic Rendering: Algorithms and Applications*. AK Peters, Wellesley, MA, May 2008;517-29.
- 5.- Holden MK. Virtual Environments for Motor Rehabilitation: Review. *CyberPsychology & Behavior* 2005;8(3):187-211.
- 6.- Holden M, Todorov E, Callahan J, Bizzi E. Virtual Environment Training Improves Motor Performance in Two Patients with Stroke: Case Report. *Neurology Report* 1999;23(2):57-67.
- 7.- Fugl-Meyer AR, Jääskö L, Leyman I, Olsson S, Steglind S. The post-stroke hemiplegic patient. 1. A method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehab Med* 1975;7:13-31.
- 8.- Wolf SL, Catlin PA, Ellis M, Archer AL, Morgan B, Piacentino A. Assessing Wolf Motor Function Test as Outcome Measure for Research in Patients After Stroke. *Stroke* 2001;32:1635-9.
- 9.- Holden M, Dyar T, Callahan T, Schwamm L, Bizzi E. Quantitative assessment of motor generalization in the real world following training in virtual environments in patients with stroke. *Neurology Report* 2001;25:129-30.
- 10.- Holden M, Dyar T. Virtual environment training: a new tool for neurorehabilitation. *Neurology Report* 2002;26:62-71.
- 11.- Bouzit M, Burdea G, Popescu G, Boian R. The Rutgers Master II-new design force feedback glove. *IEEE Trans Mechatronics* 2002;7:256-63.
- 12.- Merian 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;20:1-16.
- 13.- Jepsen RH, Taylor N, Trieschmann RB, Trotter MJ, Howard LA. An objective and standardized test of hand function. *Arch Phys Med Rehabil* 1969;50:311-9.
- 14.- Adamovich SV, Merians AS, Boian R, Tremaine M, Burdea G, Recce M, et al. A virtual reality based exercise system for hand rehabilitation post-stroke. *International Workshop on Virtual Rehabilitation*. Piscataway, EEUU, septiembre de 2003.
- 15.- Kuttuva M, Boian R, Merians A, Burdea G, Bouzit M, Lewis J, et al. The Rutgers Arm: an upper-extremity rehabilitation system in virtual reality. *Fourth International Workshop on Virtual Rehabilitation*. Santa Catalina, EE. UU., septiembre de 2005.
- 16.- Polhemus Co. URL: <http://www.polhemus.com>. [01.02.2012].
- 17.- Kuttuva M, Boian R, Merians A, Burdea G, Bouzit M, Lewis J, et al. The Rutgers Arm, a rehabilitation system in virtual reality: a pilot study. *Cyberpsychol Behav* 2006;9:148-52.
- 18.- Burdea G, Fensterheim D, Cioi D, Arezki A. The Rutgers Arm II rehabilitation system. *International Conference on Virtual Rehabilitation*. Vancouver, Canada, agosto de 2008.
- 19.- Burdea G, Cioi D, Martin J, Fensterheim D, Holenski M. The Rutgers Arm II rehabilitation system – A feasibility study. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 2010;18(5):505-14.

- 20.- Cioi D, Burdea G, Holenski M. The Rutgers Arm II rehabilitation system – A case series. International Conference on Virtual Rehabilitation. Chicago, EEUU, Julio de 2009.
- 21.- Boian R, Lee CS, Deusch JE, Burdea G, Lewis J. Virtual reality-based system for ankle rehabilitation post stroke. 1st International Workshop on Virtual Reality Rehabilitation. Lausana, Suiza, 2002.
- 22.- Boian R, Kourtev H, Erickson K, Deutsch JE, Lewis J, Burdea G. Dual Stewart-platform gait rehabilitation system for individuals post-stroke. International Workshop on Virtual Rehabilitation. Piscataway, EEUU, septiembre de 2003.
- 23.- Deutsch JE, Boian RF, Lewis JA, Burdea GC, Minsky A. Haptic effects modulate kinetics of gait but not experience of realism in a virtual reality walking simulator. International Conference on Virtual Rehabilitation. Vancouver, Canada, agosto de 2008.
- 24.- GestureTek. URL: <http://www.gesturetek.com>. [04.02.2012].
- 25.- Kizony R, Raz L, Katz N, Weingarden H, Weiss PL. Video-capture virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev* 2005;42:595-608.
- 26.- Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, Studenski S. Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol* 1990;45:192-7.
- 27.- Lynch SM, Leahy P, Barker SP. Reliability of measurements obtained with a modified functional reach test in subjects with spinal cord injury. *Phys Ther* 1998;78:128-33.
- 28.- Peñasco-Martín B, de los Reyes-Guzmán A, Gil-Agudo A, Bernal-Sahún A, Pérez-Aguilar B, de la Peña-González AI. TOYRA: Realidad virtual para la rehabilitación de patologías de miembro superior. Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica. Madrid, España, noviembre de 2010.
- 29.- Mahoney FI, Barthel DW. Functional evaluation: the Barthel index. *Maryland State Med J* 1965;14:61-5.
- 30.- Hamilton BB, Laughlin JA, Granger CV, Kayton RM. Interrater agreement of the seven level Functional Independence Measure (FIM). *Arch Phys Med Rehabil* 1991;72:790-4.
- 31.- Itzkovich M, Tripolski M, Zelling G, Ring H, Rosentul N, Ronen J, et al. Rasch analysis of the Catz-Itzkovich spinal cord independence measure. *Spinal Cord* 2001;40:396-407.
- 32.- Kellor M, Frost J, Silberberg N, Iversen I, Cummings R. Hand Strength and destrexy. *Am J Occup Ther* 1971;25:77-83.
- 33.- Wade DT. Measuring arm impairment and disability after stroke. *Int Disabil Stud* 1989;11:89-92.
- 34.- Gil-Agudo A, Dimbwadyo-Terrer I, Peñasco-Martín B, de los Reyes-Guzmán A, Bernal-Sahún A, Berbel-García A. Experiencia clínica de la aplicación del sistema de realidad TOyRA en la neuro-rehabilitación de pacientes con lesión medular. *Rehabilitación* 2012;46(1):41-8.
- 35.- Weghorst S, Prothero J, Furness T, Anson D, Riess T. Virtual images in the treatment of Parkinson's disease akinesia. *Medicine meets virtual reality II*. San Diego, EEUU, enero de 1994.
- 36.- Riess T. Augmented reality in the treatment of Parkinson's disease. In Morgan K, Satava M, Sieburg HB, Mattheus R, Christensen JP, eds. *Interactive technology and the new paradigm of healthcare*. Amsterdam: IOS Press 1995;298-302.
- 37.- Massie TH, Salisbury KJ. The PHANTOM haptic interface: a device for probing virtual objects. *Proceedings of the 1994 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exhibition* 1994;295-302.
- 38.- McDonnell. Action Research Arm Test. *Aust J Physiother* 2008;54:220-1.
- 39.- Feys P, Duportail M, Kos D, Van Asch P, Ketelaer P. Validity of the TEMPA for the measurement of upper limb function in multiple sclerosis. *Clin Rehabil* 2002;16:166-73.
- 40.- Baram Y, Aharon-Peretz J, Simionovici Y, Ron L. Walking on virtual tiles. *Neural Proc Lett* 2002;16:227-33.
- 41.- Baram Y, Miller A. Virtual reality cues for improvement of gait in patients with multiple sclerosis. *Neurology* 2006;66:178-81.
- 42.- Baram Y, Miller A. Glide-symmetric locomotion reinforcement in patients with multiple sclerosis by visual feedback. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2010;5(5):323-6.
- 43.- Berg K, Wood-Dauphinee S, Williams JI, Gayton D. Measuring balance in the elderly: preliminary development of an instrument. *Physiother Can* 1989;41:304-11.
- 44.- Fulk GD. Locomotor training and virtual reality-based balance training for an individual with multiple sclerosis: a case report. *J Neurol Phys Ther* 2005;29:34-42.
- 45.- Basteris A, De Luca A, Sanguineti V, Solaro C, Mueller M, Carpinella I, et al. A tailored exercise of manipulation of virtual tools to treat upper limb impairment in Multiple Sclerosis. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*. Zurich, Suiza, junio de 2011.
- 46.- Kurtzke JF. Rating neurologic impairment in multiple sclerosis: an Expanded Disability Status Scale (EDSS). *Neurology* 1983;33:1444-52.
- 47.- Leocani L, Comi E, Annovazzi P, Rovaris M, Rossi P, Cursi M, et al. Impaired short-term motor learning in multiple sclerosis: evidence from virtual reality. *Neurorehabil Neural Repair* 2007;21:273-8.