



ORIGINAL

Realidad virtual de bajo coste. Una nueva aplicación para rehabilitación motora de los miembros superiores en patología neurológica: Estudio piloto



A. de los Reyes-Guzmán^{a,*}, L. Fernández García^b, M. Álvarez-Rodríguez^a, V. Lozano-Berrio^a, A.M. Domingo-García^c y S. Ceruelo-Abajo^d

^a Unidad de Biomecánica. Hospital Nacional de Paraplégicos de Toledo, Toledo, España

^b Servicio de Rehabilitación. Complejo Hospitalario Universitario de Toledo, Toledo, España

^c Unidad de Terapia Ocupacional. Hospital Nacional de Paraplégicos de Toledo, Toledo, España

^d Servicio de Rehabilitación. Hospital Nacional de Paraplégicos de Toledo, Toledo, España

Recibido el 26 de enero de 2021; aceptado el 8 de julio de 2021

Disponible en Internet el 10 de septiembre de 2021

PALABRAS CLAVE

Rehabilitación;
Realidad virtual;
Neurorrehabilitación;
Biomecánica;
Leap motion
controller

Resumen

Antecedentes y objetivo: El objetivo de este estudio es presentar una nueva aplicación de realidad virtual (RV) de bajo coste basada en el dispositivo *Leap Motion Controller* (LMC) desarrollada para la rehabilitación motora de miembros superiores tras patología neurológica y mostrar su viabilidad clínica realizando una experiencia piloto.

Material y métodos: El LMC permite la interacción con las aplicaciones virtuales mediante la captación de los movimientos de la mano. Se realizó una prueba piloto con cuatro pacientes con afectación de miembros superiores con *Upper Extremity Motor Score* (UEMS) mayor de 10. Se les valoró con los test *Box and Block* (BBT) y tarea de escritura del *Jebsen-Taylor Hand Function* (JTHF) antes y después de la intervención.

Resultados: Los pacientes completaron el protocolo de nueve sesiones de 30 minutos de duración dividido en tres sesiones por semana. En el BBT pasaron de 38 (DE 20) cubos antes de la intervención a 44 (DE 21,72) cubos tras finalizarla. En el JTHF pasaron de 28,25 s (DE 8,61) a 26,75 s (DE 21,72). No hubo diferencias estadísticamente significativas. La usabilidad del dispositivo se valoró con la escala *Quebec User Evaluation of Satisfaction with assistive Technology*, versión 2.0 (QUEST) siendo la seguridad, efectividad y facilidad de uso los aspectos prioritarios.

Conclusión: Se presenta un nuevo desarrollo de RV basado en el dispositivo LMC y se ha comprobado su viabilidad clínica en pacientes neurológicos con afectación de los miembros superiores. Es preciso realizar un estudio clínico con una muestra amplia para valorar su posible efectividad clínica como elemento de tratamiento.

© 2021 Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: adlos@sescam.jccm.es (A. de los Reyes-Guzmán).

<https://doi.org/10.1016/j.rh.2021.07.001>

0048-7120/© 2021 Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Rehabilitation;
Virtual reality;
Neurorehabilitation;
Biomechanics;
Leap Motion
Controller

Low-cost virtual reality. A new application for upper extremity motor rehabilitation in neurological pathology: Pilot study

Abstract

Background and objectives: The aim of this study is to present a new virtual reality (VR) low cost application based on Leap Motion Controller (LMC) device for upper extremity motor rehabilitation after neurological pathology and to demonstrate its clinical feasibility by carrying out a pilot experience.

Material and methods: The LMC allows the interaction with virtual applications by capturing the patient's hand movements. A pilot study was carried out with 4 patients with upper limb impairment reflected with Upper Extremity Motor Score (UEMS) greater than 10. They were assessed using the Box and Block (BBT) and the writing task within the Jebsen-Taylor Hand Function (JTHF) before and after the intervention.

Results: All patients completed the 9-session, 30-min protocol divided into 3 sessions per week. They went from an average result of 38 (SD 20) blocks in BBT before the intervention to 44 (SD 21.72) after it. They went from 28.25 s (SD 8.61) to 26.75 s (SD 21.72) in the JTHF. Statistically significant differences were no found. The device usability was assessed by the QUEST scale, being the security, effectiveness and ease to use the aspects that patients considered to be a priority.

Conclusión: A new VR development based on the LMC device is presented and the clinical feasibility of its application in neurological patients with upper limb involvement has been proven. A clinical study with a large sample size is needed to assess its potential clinical effectiveness as a treatment element.

© 2021 Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Actualmente en el campo de la Neurorrehabilitación existe un creciente interés en el empleo de la tecnología por la posibilidad de cuantificar y generar conocimiento sobre los trastornos sensoriomotores secundarios a enfermedades neurológicas, entendiendo que la tecnología tiene un alto potencial de uso como herramienta de diagnóstico y terapéutica¹. Sin embargo, la mayor parte de estas tecnologías (robótica, realidad virtual, etc.) no se aplican todavía en la práctica clínica diaria de forma mayoritaria por varias razones. Una de ellas, de gran importancia, es el alto coste que tienen muchas de ellas, lo que reduce su ámbito de aplicación sólo a los centros de rehabilitación especializados.

Tres elementos clave de la Neurorrehabilitación son la intensidad/repetición, la actividad orientada a una tarea y la motivación del paciente conseguida a través de las fuentes de *feedback*. La repetición es importante tanto para el aprendizaje motor como para que tengan lugar los cambios corticales que los originan, pero no es la repetición por sí sola lo que causa el aprendizaje motor, sino que debe ser orientada a una tarea e ir ligada a un *feedback* sensorial sobre el resultado de cada una de las realizaciones². Para efectuar repetidas veces las actividades requeridas en Neurorrehabilitación es fundamental la motivación del sujeto que se consigue enfocando las diferentes actividades que conforman la terapia, como en el caso de un videojuego, de forma que las sesiones de tratamiento sean mucho más amenas y atractivas³.

Es importante señalar que las enfermedades neurológicas producen en la mayoría de los casos trastornos incapacitantes que perduran durante toda la vida del paciente, afectando su calidad de vida, su nivel de independencia en la realización de actividades de la vida diaria (AVD) y su participación social. En este contexto, se entiende que el proceso de rehabilitación debe extenderse más allá de la fase de hospitalización, y es necesario involucrar elementos de bajo coste en dicho proceso, a fin de contar con soluciones terapéuticas que permitan realizar las sesiones de tratamiento durante un tiempo prolongado en el entorno del paciente. Se trata de conseguir herramientas que permitan la realización de ejercicios terapéuticos con un elevado número de repeticiones, proporcionando las fuentes de retroalimentación necesarias para motivar y asegurar la adherencia del paciente a las tareas funcionales propuestas^{4,5}.

Una de estas tecnologías que cumplen estos requerimientos son las aplicaciones basadas en la realidad virtual (RV). 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 en tiempo real con ciertos elementos dentro del escenario simulado. El campo prioritario de aplicación de la RV hasta el momento parece ser el ictus^{6,7}.

Esta tecnología suele tener un coste elevado y, por lo tanto, es de difícil acceso general. No obstante, existen consolas de videojuegos como la Nintendo Wii o la Microsoft XBOX con la Kinect que se han incorporado al mundo clínico como opciones tecnológicas de bajo coste.

Esta última capta el movimiento corporal completo de un sujeto sin sensorizarlo, aunque con una no muy alta precisión. Más recientemente, han aparecido nuevos dispositivos como el *Leap Motion Controller* (LMC) que permite generar un entorno de RV semi-inmersiva que permite el reconocimiento 3D gestual de las manos sin necesidad de poner sensores a la persona. De este modo, se genera una imagen virtual de la mano en la pantalla de un ordenador en la que el paciente tiene que realizar unos movimientos que se ajusten a su programa de tratamiento. La versatilidad de esta tecnología es muy amplia, con posible aplicación a diferentes campos en los que el uso de gestos puede facilitar la interacción persona-máquina⁸.

El dispositivo LMC, inicialmente diseñado y desarrollado para el sector del ocio y del entretenimiento con videojuegos, ha comenzado a utilizarse en el campo de la medicina, apareciendo nueva bibliografía en progresivo aumento en los últimos años. En el campo de la rehabilitación, este dispositivo se ha empleado en la rehabilitación de alteraciones de los miembros superiores de pacientes que han sufrido un ictus^{9,10}. El LMC permite una interacción libre y a diferencia de otras aplicaciones y/o exoesqueletos colocados sobre la mano ofrece, entre otras ventajas, la no instrumentación del paciente con sensores a la hora de realizar la sesión terapéutica. Por tanto, se presenta como un dispositivo ideal para aplicar en pacientes con tetraplejia y/o trastornos motores de la mano de origen neurológico.

En una publicación reciente, se comienza a plantear su uso como herramienta de valoración clínica para el tratamiento del temblor esencial, propuesta como solución a la ausencia de instrumentos especializados para medir los movimientos de la mano a diferentes frecuencias y amplitudes, consiguiendo medirlo con un error de tan solo el 2-3%¹¹.

En una revisión previa se valoraba la idoneidad de este tipo de sensores para sustituir dispositivos mucho más costosos de la industria médica, y se comparaba el LMC con otros tipos de sensores disponibles. Se concluía que el LMC es uno de los sensores de bajo coste más precisos para la monitorización de los movimientos de la mano¹².

Salvo los casos comentados, son muy escasas las aportaciones de experiencias clínicas con este dispositivo en un contexto clínico. Además, en estas experiencias clínicas la intervención terapéutica se ha basado en aplicaciones virtuales lúdicas disponibles en el repositorio de LMC sin estar dotadas de las fuentes de *feedback* que necesita el paciente neurológico. Por tanto, el objetivo del presente trabajo es presentar una nueva herramienta de rehabilitación basada en un conjunto de aplicaciones virtuales, que han sido diseñadas y desarrolladas específicamente para el tratamiento de las alteraciones motoras de los miembros superiores de origen neurológico, que utilizan el LMC como elemento de captura de movimiento y confirmar su aplicabilidad en un contexto clínico mediante un estudio piloto con pacientes neurológicos.

Material y métodos

Controlador de movimiento *Leap Motion*

Se presenta el desarrollo propio de una herramienta de RV que utiliza como sistema de captura de movimiento el dis-

positivo LMC (LeapMotion, Inc., San Francisco, CA, USA). El LMC es un dispositivo de bajo coste diseñado para controlar las aplicaciones por medio de gestos y movimientos de la mano. Contiene tres sensores infrarrojos y dos cámaras. Cuenta con el modelado fisiológico de todas las articulaciones de ambas manos y de cada dedo. El dispositivo es pequeño, rectangular, su peso es de 45 g y se conecta al ordenador vía USB. En este estudio, se utilizó un procesador i7 con 12 GB de memoria RAM y una tarjeta gráfica NVIDIA, ejecutándose bajo Windows¹⁰.

Interfaz de usuario

La interfaz permite a los pacientes interaccionar fácilmente con las aplicaciones virtuales desarrolladas de una forma intuitiva con instrucciones sencillas. Las instrucciones que aparecen en la pantalla se ven reforzadas por fuentes de *feedback* visual y auditivo. Con todo ello, los juegos son guiados en forma de mensajes, imágenes y audios para adaptarse a las necesidades de cualquier usuario.

Aplicaciones virtuales implementadas

Se han diseñado una serie de aplicaciones virtuales para la rehabilitación de las alteraciones motoras de los miembros superiores, a partir de los requisitos clínicos y las indicaciones planteadas por terapeutas ocupacionales y médicos rehabilitadores de nuestro centro hospitalario. El desarrollo lo han realizado ingenieros expertos de nuestro centro. Cada aplicación posee un objetivo terapéutico específico enmascarado en el contenido del juego:

Aplicación *Box and Block*: consiste en la virtualización del test clínico *Box and Block*, que consiste en trabajar las funciones de alcance, manipulación y agarre/suelta de cubos mediante la ejecución de movimientos principalmente de prensión polidigital y las variantes de pinza (término-terminal, subtérmino-terminal, tridigital, subtérmino-lateral).

Aplicación *Coger pétalos*: consiste en arrancar uno a uno los pétalos de las flores con el objetivo de trabajar la destreza fina de la mano, mediante la ejecución de diferentes pinzas (término-terminal, subtérmino-terminal, tridigital, subtérmino-lateral).

Aplicación *Laboratorio*: el paciente es el científico de un laboratorio en el que se están realizando experimentos. Se incluyen materiales de diferentes tamaños y formas, como probetas y píldoras. El objetivo de este juego es trabajar la función de alcance, agarre y pronación-supinación del antebrazo manipulando los objetos virtuales para depositarlos en el recipiente central.

Aplicación *Cueva Mágica*: consiste en una cueva en la que vive un mago y se realizan conjuros. Para completarlos, el paciente debe seguir el trazo de las frases punteadas propuestas con ayuda del dedo índice o un puntero. El objetivo es trabajar la función de escritura mediante el entrenamiento de la coordinación óculo-manual, y el trabajo de la pinza y la destreza manual.

Aplicación *Explorador*: el paciente es un explorador que llega a una pirámide egipcia. Para poder abrir el cofre del tesoro, el paciente debe seguir y completar una trayectoria prefijada con el dedo índice o un puntero. El objetivo tera-

Tabla 1 Características demográficas y funcionales de los cuatro pacientes incluidos en la prueba piloto

Pacientes	Género	Edad	Diagnóstico	Dominancia	MS tratado	UEMS*
1	Hombre	19	Lesión medular traumática C4 AIS A ZPP motora C6	D	D	10
2	Hombre	22	Lesión medular Traumática C6 AIS D	D	D	12
3	Mujer	12	Meningoencefalitis infecciosa	D	I	22
4	Mujer	15	Síndrome de Guillain-Barré	D	D	23

AIS: American Spinal Injury Association Impairment Scale; ZPP: zona de preservación parcial; MS: miembro superior.

* UEMS: Upper Extremity Motor Score del miembro superior tratado.

péutico de este juego es trabajar la coordinación global del miembro superior y la suavidad del movimiento medida en el extremo distal.

Aplicación Desactivar la bomba: el paciente es un artífice que debe desactivar una bomba en menos de cinco minutos. Para ello, se deben seguir las instrucciones que aparecen en la pantalla, dando la orden de cuál es la mano que debemos utilizar para quitar el relé correcto de la bomba especificado por un color determinado. El objetivo terapéutico consiste en trabajar la coordinación bimanual mediante la manipulación alternante de objetos con ambas manos.

Aplicación Apocalipsis: El objetivo terapéutico es trabajar el control de la fuerza de agarre manteniéndolo entre dos umbrales. La aplicación consiste en regar las semillas siguiendo en todo momento las directrices propuestas. Si el participante realiza la acción que propone la máquina de estados de la aplicación, se interpreta como un refuerzo positivo y la planta crece. En caso contrario, se aplica una penalización y la planta comienza a marchitarse.

Participantes

Para valorar la aplicabilidad de este instrumento en un contexto clínico, se realizó una prueba piloto en la Unidad de Terapia Ocupacional infantil de nuestro Centro hospitalario con cuatro pacientes que presentaban déficit funcional en los miembros superiores secundarios a procesos neurológicos, con preservación de la función motora en la mano. La realización de la prueba piloto en un Área de tratamiento pediátrico condicionó la edad de los participantes, aunque no constituyó un criterio de inclusión/exclusión en sí mismo. Debían presentar un *Upper Extremity Motor Score* (UEMS)¹³ en la extremidad que utilizó el dispositivo de RV igual o mayor de 10 (tabla 1), que tolerasen la sedestación y que aceptasen participar en el estudio mediante el correspondiente modelo de consentimiento informado.

Los siguientes condicionantes fueron criterios de exclusión del estudio: pacientes con lesiones ortopédicas inestables como fracturas no consolidadas o con sistemas de osteosíntesis no estables en miembros superiores, presencia de rigidez articular y/o espasticidad severa en miembros superiores, presencia de bronconeumonía y/o cardiopatía severa que precisasen monitorización durante el ejercicio, antecedentes previos de respuesta anormal al ejercicio físico, alteraciones visuales y deterioro cognitivo. Este estudio cumple los criterios de la Declaración de Helsinki y ha

sido aprobado por el Comité de Ética e Investigación Clínica del Complejo Hospitalario de Toledo con fecha del 30 de abril de 2019 ref. 372. La selección de los pacientes e inclusión en el estudio se hizo de forma consecutiva. Este estudio piloto duró tres meses a partir de mayo de 2019.

Protocolo de intervención y configuración experimental

La intervención consistió en un programa de terapia experimental de tres semanas de duración, dividido en tres sesiones por semana de 30 minutos de duración cada una de ellas en las que el paciente ejecutaba todas las aplicaciones virtuales mostradas utilizando el sensor LMC como elemento de captura del movimiento. Esta intervención se ha considerado en este caso como un complemento a la terapia convencional que recibe el paciente.

La intervención es unilateral. La elección del miembro superior tratado se realiza considerando la dominancia del paciente y los objetivos rehabilitadores. El sujeto se sienta frente a una mesa regulable en altura. Frente a él se encuentra el ordenador y el LMC, situándose este último entre el participante y la pantalla del ordenador. La situación del sensor le permite captar los movimientos de la mano, y de forma simultánea, el paciente puede ver en la pantalla el avatar que reproduce sus propios movimientos (fig. 1). La captación óptima de la mano se obtiene con la mano paralela al sensor. Cada aplicación virtual dispone de cuatro niveles de dificultad en los que varía el tamaño de los objetos a manipular y el número de objetivos a alcanzar. El paciente no debe utilizar ortesis ni recibir ayuda del terapeuta para completar los ejercicios.

Antes de comenzar las sesiones del estudio, todos los pacientes ejecutaron dos sesiones a modo de aclimatación a las diferentes aplicaciones en el nivel más sencillo y, además, estas sesiones fueron útiles para comprobar que los pacientes con sus diferentes características clínicas, podían interactuar con el entorno virtual a través del LMC.

El estudio de viabilidad clínica implica que todos los pacientes realizan el estudio experimental comenzando en la primera sesión por el nivel más bajo y con menos dificultad en cada aplicación. El cambio de nivel en las aplicaciones virtuales se realiza bajo criterio del terapeuta en función del desempeño del paciente según tiempo de ejecución y objetivos alcanzados. Durante la sesión de 30 minutos se ejecutan prácticamente la totalidad de las aplicaciones virtuales propuestas.



Figura 1 Paciente manipulando la aplicación virtual «Laboratorio» con Leap Motion Controller (LMC). El dispositivo aparece rodeado en rojo.

Variables de resultado

Se recogieron datos sobre edad, sexo, tipo de lesión, dominancia manual y el UEMS del miembro superior tratado. Como medidas de viabilidad del estudio, se muestra el número de veces ejecutadas y el desempeño obtenido dentro de cada nivel de dificultad en dos aplicaciones virtuales. Para evaluar la evolución funcional de los pacientes se recogieron los datos de dos test clínicamente validados: el Box and Block Test (BBT) para valoración de destreza grosera de miembro superior¹⁴, y la tarea de escritura del test «*Jebsen-Taylor Hand Function*» (JTHF)¹⁵.

Se analizaron las puntuaciones pre y post intervención de ambos test clínicos, el BBT mediante el número total de cubos que se han pasado al otro compartimento en un minuto y la tarea de escritura del JTHF medida en segundos. Además, se recogieron datos sobre el nivel de satisfacción de los pacientes con la tecnología al finalizar la terapia mediante la escala *Quebec User Evaluation of Satisfaction with assistive Technology*, versión 2.0 (QUEST)¹⁶.

Análisis estadístico

Se testó la normalidad de la distribución mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y se realizó la comparación de medias para muestras relacionadas mediante el test de Wilcoxon (no paramétrico) con el programa estadístico IBM SPSS Statistics (v.22). Se realizó el análisis estadístico con un nivel de confianza del 95%.

Resultados

Para esta prueba piloto se analizaron los resultados de cuatro pacientes con afectación de la función motora de miembros superiores de origen neurológico, siendo la mitad hombres y la otra mitad mujeres. La media de edad fue de 17 años (DE 4,39). El resto de las características demográficas y funcionales de estos pacientes se presenta en la [tabla 1](#).

En general se observa que el desempeño en los niveles más sencillos de las aplicaciones virtuales ha sido mayor que el obtenido en el más complicado ([tabla 2](#)). En la aplicación «Coger pétalos» se ha obtenido 95,25 (DE 21,51) pétalos en el más sencillo y 80,95 (DE 31,14) pétalos en el de mayor dificultad. En la aplicación «Laboratorio» se han alcanzado 94,16 (DE 6,87) y 89,33 (DE 14,36) objetivos, respectivamente. Además, se observa que la desviación estándar es mayor en los resultados obtenidos para los niveles de dificultad más complicados.

En cuanto a los resultados de los test clínicos empleados en la muestra analizada, merece la pena citar que la media de las puntuaciones de los cuatro pacientes en el test BBT previo a la intervención, fue de 38 cubos (DE 20) y la media posterior a la intervención fue de 44 cubos (DE 21,72), mostrando una leve mejoría todos los pacientes ([tabla 3](#)). En el test inicial de JTHF para lectoescritura se obtuvo una media de 28,25 s (DE 8,61) y tras la intervención se obtuvo una media de 26,75 s (DE 8,26) ([tabla 3](#)). En este caso, tres de los cuatro pacientes mejoraron los datos relativos al JTHF realizando el test en menos tiempo después de la intervención. Estas mejorías encontradas no fueron estadísticamente significativas tras la comparación de los resultados obtenidos en el test de BBT antes y después de la intervención ($p = 0,068$) y tampoco para el test de JTHF ($p = 0,141$).

Todos los pacientes completaron todas las sesiones de tratamiento sin que apareciesen efectos adversos. Los cuatro sujetos mostraron buena adherencia al tratamiento y alto grado de satisfacción, medido mediante la escala QUEST. El 100% de las respuestas obtenidas en los diferentes ítems fueron puntuadas con valores superiores a una media de 4,25 puntos, estando en general muy satisfechos con el uso de la tecnología ([tabla 4](#)). Los aspectos más importantes para los pacientes fueron en orden de prioridad la seguridad, efectividad y facilidad de uso del dispositivo ([fig. 2](#)).

Discusión

Se ha presentado una nueva herramienta original de desarrollo propio basada en aplicaciones de RV por medio de LMC

Tabla 2 Resultados del número de veces que se han ejecutado y el desempeño obtenido en las aplicaciones virtuales «Coger pétalos» y «Laboratorio»

Aplicaciones virtuales	Niveles de dificultad							
	Nivel 1 (menor dificultad)				Nivel 2			
	n		Desempeño*		n		Desempeño*	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Coger pétalos	2,00	1,41	95,25	21,51	3,33	2,51	94,33	48,33
Laboratorio	2,00	0,81	94,16	6,87	3,50	2,38	89,47	16,93

Los resultados se expresan como media y desviación estándar (DE). La variable n hace referencia al número de veces que se ha ejecutado el nivel de dificultad correspondiente en las aplicaciones virtuales consideradas.

* La variable desempeño hace referencia al número de objetivos alcanzados (aplicación virtual «Coger pétalos») o al % de consecución de la tarea (aplicación virtual «Laboratorio»).

Tabla 3 Resultados de los test clínicos en la muestra de pacientes analizados antes y después de la intervención de la aplicación de realidad virtual basado en LMC (Leap Motion Controller)

Pacientes	Box and Block (Nº cubos)		Jebsen Taylor Hand Function (s)	
	Pre-intervención	Post-intervención	Pre-intervención	Post-intervención
1	16	20	35	32
2	40	52	26	27
3	32	34	35	33
4	64	70	17	15
Media (DE)	30 (20)	44 (21,72)	28,25 (8,61)	26,75 (8,26)

Tabla 4 Resultados de la escala *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology* (QUEST) en los pacientes analizados

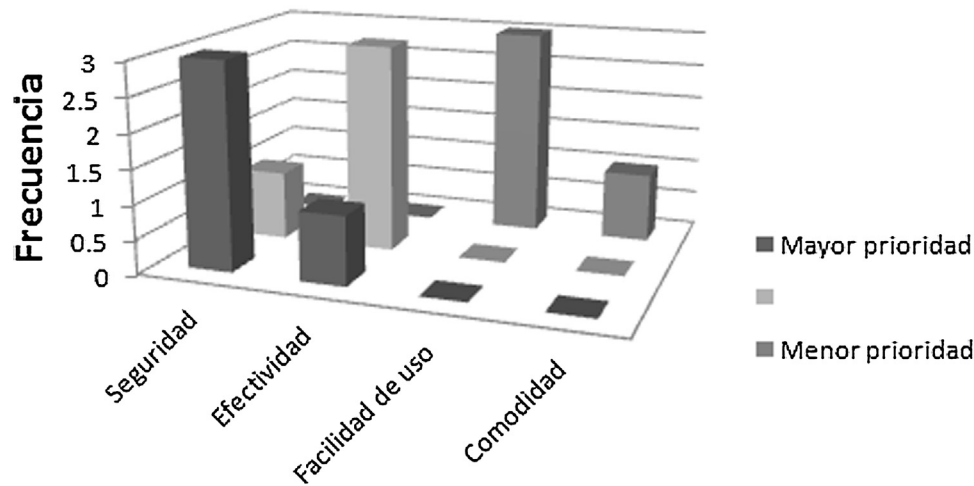
Nivel de satisfacción con	Participantes (n = 4)	
	Media	DE
1. Las dimensiones (talla, ancho, largo) del dispositivo	4,50	0,57
2. El peso del dispositivo	5,00	0,00
3. Facilidad para ajustarlo (graduar, asegurar)	4,75	0,50
4. La seguridad y la posibilidad de que no le haga daño	5,00	0,00
5. Durabilidad (duración y resistencia al uso)	4,25	0,95
6. La facilidad para usarlo (tenerlo puesto)	4,75	0,50
7. La comodidad del dispositivo	4,50	0,57
8. La efectividad del aparato	4,75	0,50
9. Nivel de satisfacción en general	4,50	0,57

para el tratamiento rehabilitador de pacientes neurológicos con afectación de la función motora de los miembros superiores. Además de presentar la nueva herramienta, se añade un estudio piloto para explorar su viabilidad clínica. Con el cumplimiento de la totalidad de las sesiones experimentales programadas por parte de todos los pacientes se ha comprobado su aplicabilidad clínica. No se han notificado efectos adversos. En cualquier caso, la aportación que queremos destacar es la presentación de una nueva herramienta de RV de bajo coste desarrollada por este grupo de investigación, que entendemos considera tres de los elementos clave de la

Neurorrehabilitación como son la intensidad/repeticón, la actividad orientada a una tarea y la motivación del paciente conseguida a través de las fuentes de *feedback*. La experiencia piloto aquí presentada sirve para aportar información sobre su viabilidad clínica y, en ningún caso, para constatar su eficacia clínica que, sin duda, apoyada en estos datos preliminares será la base de un ensayo clínico posterior.

En un estudio previo, la aplicación virtual del test Box and Block, que forma parte de la herramienta presentada, se validó clínicamente en personas sanas y pacientes con afectación de la función del miembro superior, analizando

Escala QUEST



Características

Figura 2 Características de la herramienta terapéutica con Leap Motion Controller que los pacientes han considerado prioritarias en la escala *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology* (QUEST).

la correlación existente con el desempeño en la escala real. Todos los participantes obtuvieron un desempeño inferior en el test virtual que en el test real³.

El LMC se desarrolló inicialmente con un fin lúdico y de ocio. Se trata de un dispositivo de bajo coste, de dimensiones muy reducidas y facilidad de uso que puede capturar el movimiento de ambas manos y de los 10 dedos de forma simultánea¹⁷. La utilización de este sensor puede facilitar la aplicación clínica frente a otras tecnologías de mayor complejidad y coste^{4,18,19}. Además, el hecho de ser un dispositivo de interacción libre, que no requiere instrumentación del participante, facilita en enorme medida su aplicabilidad en pacientes con afectaciones neurológicas.

La aplicación del LMC en el entorno clínico ha comenzado a producirse rápidamente, lo que hace que la validación de los datos proporcionados por LMC sea un objetivo de investigación relevante. En trabajos anteriores se han analizado los datos cinemáticos de los movimientos de la mano en una muestra de 16 sujetos sanos¹⁷, pero no se han encontrado estudios realizados en patologías neurológicas. En la aplicación aquí presentada se han tenido en cuenta los resultados de estos autores, de ahí que los movimientos de la mano se realicen con la mano abierta y paralela al sensor en la medida de lo posible.

Existe algún estudio previo exploratorio en patologías neurológicas como la enfermedad de Parkinson. En uno de ellos se seleccionaron cinco pacientes con movilidad limitada, y se sometieron a terapia controlada por LMC mediante el desarrollo específico de juegos virtuales, con un protocolo semejante al utilizado en el presente estudio. Sus resultados mostraron una mejoría de la destreza manual asociada a una experiencia satisfactoria para el usuario²⁰. Otro estudio en la misma población mostraba una mejoría significativa de la destreza manual del lado más afectado semejante al grupo control, con un alto nivel de satisfacción percibido por el

usuario. Los hallazgos sugieren que este tipo de tecnología puede ser beneficiosa como herramienta de rehabilitación para otros grupos de pacientes neurológicos^{21,22}. Asimismo, se empieza a aplicar en patologías distintas de la neurológica, como en pacientes quemados²³.

Además, parece que este tipo de tecnología es mejor recibida por pacientes jóvenes²⁴. En nuestro estudio, la participación de pacientes jóvenes se debe fundamentalmente a que actualmente la herramienta terapéutica presentada se encuentra instalada en la Unidad de Terapia Ocupacional Infantil. Hay que tener en cuenta que por ser LMC un dispositivo de interacción libre, la edad del paciente no es un aspecto limitante en su aplicación.

Las aplicaciones virtuales presentadas en este estudio solicitan, entre otros, tareas de agarrar, soltar y ejecución de distintos tipos de pinzas. La ejecución de estos movimientos implica la activación de la musculatura de antebrazo e intrínseca de la mano. Entrenar estos músculos facilita la recuperación de la fuerza en la mano y la capacidad de agarrar. Algunos autores proponen el uso de dinamómetros de mano para comprobar esta mejoría²⁰. Futuros desarrollos podrían incluir métodos de inteligencia artificial para automatizar el proceso de rehabilitación utilizando LMC adaptando los niveles de dificultad y exigencia de los ejercicios basándose en la ejecución del paciente y en otros factores (fatiga, errores, tasa de aciertos) sirviendo como un elemento de información complementaria al terapeuta.

El conocimiento de la opinión del paciente es muy importante para valorar su aceptación. Por ese motivo, incluimos el cuestionario QUEST en nuestra valoración que mostró unos resultados muy favorables, siendo la seguridad, efectividad y facilidad de uso los aspectos que los pacientes han considerado prioritarios y de más importancia.

En cuanto a las ventajas merece la pena señalar que este tipo de modalidad terapéutica resulta ameno y

entretenido, características de especial interés en terapias de larga evolución^{25,26}. Gracias a las fuentes de *feedback* que incorporan, puede graduarse la dificultad de cada escenario, por lo que cada sesión de terapia y el programa global, supone un reto para los pacientes y mejora su motivación²⁷. Asimismo, la herramienta presentada en este estudio piloto proporciona un sistema de *feedback* audiovisual que es de gran utilidad para los pacientes, lo cual mejora la motivación y en consecuencia la adherencia terapéutica. Otra de las ventajas que puede ofrecer esta herramienta es administrar una terapia homogénea y estandarizada entre todos los pacientes, que puede ser incluso administrada a distancia y que no está limitada a horarios del personal sanitario pudiendo ser monitorizada en cada sesión. Este dispositivo se encuentra disponible en el mercado y a un precio asequible, por lo que sería una opción a considerar para trasladar parte del tratamiento rehabilitador al domicilio del paciente.

En cuanto a las limitaciones del estudio, todavía se debe definir la idoneidad de los pacientes candidatos a la terapia con esta herramienta. En cualquier caso, los pacientes en los que pensamos que se puede encontrar un mayor beneficio son aquellos en los que la afectación de los miembros superiores es predominantemente distal, es decir en la mano. De este modo se podría pensar en aplicarse de forma combinada con otros dispositivos que se centran en los movimientos proximales del miembro superior²⁸. Otro aspecto interesante sería combinar LMC con algún dispositivo que proporcionase una realimentación háptica cuando se manipulan los objetos virtuales.

Otra limitación, dado el restringido tamaño muestral, se refiere a que las mejorías funcionales observadas en los pacientes no se pueden atribuir a la intervención mostrada en este estudio. Como se comentó anteriormente, el objetivo de este trabajo no es analizar la eficacia sino la aplicabilidad clínica de una nueva herramienta. Por ello, aunque en nuestra pequeña muestra hemos obtenido unos resultados prometedores, se pone de manifiesto la necesidad de realizar un estudio más amplio que analice la efectividad de la herramienta terapéutica presentada comparando con un grupo control, y con mayor tamaño muestral.

Conclusión

El LMC utilizado con la herramienta presentada basada en aplicaciones virtuales es un dispositivo viable para su aplicación clínica en pacientes neurológicos con afectación de la función motora de los miembros superiores. El siguiente paso consiste en la realización de un estudio clínico con una muestra amplia de pacientes para analizar la posible efectividad clínica de LMC como elemento de tratamiento comparando con un grupo control e igualando las dosis terapéuticas.

Financiación

En el presente trabajo se ha utilizado la Plataforma de Bajo Coste para Rehabilitación del Miembro Superior basado en Realidad Virtual (RehabHand) desarrollada en el contexto del proyecto e investigación DPI2016/77167 R financiado por MINECO.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Shirota C, Balasubramanian S, Melendez-Calderon A. Technology-aided assessments of sensorimotor function: current use, barriers and future directions in the view of different stakeholders. *J Neuroeng Rehabil*. 2019;16:53, <http://dx.doi.org/10.1186/s12984-019-0519-7>.
- Weiss PL, Kizony R, Feintuch U, Katz N. Virtual reality in neurorehabilitation. En: Selzer M, Clarke S, Cohen L, Duncan P, Cage F, editores. *Textbook of neural repair and rehabilitation*. Cambridge: University Press; 2006. p. 182–97.
- Álvarez-Rodríguez M, López-Dolado E, Salas-Monedero M, Lozano-Berrio V, Ceruelo-Abajo S, Gil-Agudo A, et al. Concurrent Validity of a Virtual Version of Box and Block Test for Patients with Neurological Disorders. *World J Neurosci*. 2020;10:79–89.
- 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;46:41–8.
- Sapostnik G, Levin M, Outcome Research Canada (SOR-Can) Working Group. Virtual reality in stroke rehabilitation: a meta-analysis and implications for clinicians. *Stroke*. 2011;42:1380–6.
- Karamians R, Proffitt R, Kline D, Gauthier LV. Effectiveness of virtual reality-and gaming-based interventions for upper extremity rehabilitation poststroke: A meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2020;101:885–96.
- Bayón M, Martínez J. Rehabilitación del ictus mediante realidad virtual. *Rehabilitación*. 2010;44:256–60.
- Oña ED, Jardón A, Cuesta-Gómez A, Sánchez-Herrera-Baeza P, Cano-de-la-Cuerda R, Balaguer C. Validity of a Fully-Immersive VR-Based Version of the Box and Blocks Test for Upper Limb Function Assessment in Parkinson's Disease. *Sensors (Basel)*. 2020;20:2773.
- Vanbellingen T, Filius SJ, Nyffeler T, van Wegen EEH. Usability of Videogame-Based Dexterity Training in the Early Rehabilitation Phase of Stroke Patients: A Pilot Study. *Front Neurol*. 2017;8:654.
- Wang Z, Wang P, Xing L, Mei L, Zhao J, Zhang T. Leap Motion-based virtual reality training for improving motor functional recovery of upper limbs and neural reorganization in subacute stroke patients. *Neural Regen Res*. 2017;12:1823–31.
- Kincaid CJ, Vaterlaus AC, Stanford NR, Charles SK. Frequency response of the leap motion controller and its suitability for measuring tremor. *Med Eng Phys*. 2019;63:72–8.
- Guzsvinecz T, Szucs V, Sik-Lanyi C. Suitability of the Kinect Sensor and Leap Motion Controller-A Literature Review. *Sensors (Basel)*. 2019;19:1072.
- Kirshblum S, Waring W. Updates for the international standards for neurological classification of spinal cord injury. *Phys Med Rehabil Clin*. 2014;25:505–17.
- Desrosiers J, Bravo G, Hébert R, Dutil E, Mercier L. Validation of the Box and Block Test as a measure of dexterity of elderly people: reliability, validity, and norms studies. *Arch Phys Med Rehabil*. 1994;75:751–5.
- Sears ED, Chung KC. Validity and responsiveness of the Jebsen-Taylor Hand Function Test. *J Hand Surg*. 2010;35:30–7.
- Demers L, Weis-Lambrou R, Ska B. Development of the Quebec User Evaluation of Satisfaction with assistive

- Technology (QUEST). Assist Technol. 1996;8:3–13, <http://dx.doi.org/10.1080/10400435.1996.10132268>.
17. Smeragliuolo AH, Hill NJ, Disla L, Putrino D. Validation of the Leap Motion Controller using marked motion capture technology. *J Biomech.* 2016;49:1742–50.
 18. Dimbwadyo Terror I, Trincado-Alonso F, De los Reyes-Guzmán A, López Monteagudo P, Polonio-López B, Gil-Agudo A. Activities of daily living assessment in spinal cord injury using the virtual reality system Toyra[®]: functional and kinematic correlations. *Virtual Reality.* 2016;20:17–26.
 19. Dimbwadyo Terror I, Trincado-Alonso F, De los Reyes-Guzmán A, Aznar MA, Alcubilla C, Pérez-Nombela S, et al. Upper limb rehabilitation after spinal cord injury: a treatment based on a data glove and an immersive virtual reality environment. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2016;11:462–7.
 20. Oña ED, Balaguer C, Cano-de la Cuerda R, Collado-Vázquez S, Jardón A. Effectiveness of Serious Games for Leap Motion on the Functionality of the Upper Limb in Parkinson's Disease: A Feasibility Study. *Comput Intell Neurosci.* 2018;2018:7148427.
 21. Fernández-González P, Carratalá-Tejada M, Monge-Pereira E, Collado-Vázquez S, Sánchez-Herrera Baeza P, Cuesta-Gómez A, et al. Leap motion controlled video game-based therapy for upper limb rehabilitation in patients with Parkinson's disease: a feasibility study. *J Neuroengineering Rehabil.* 2019;16:133.
 22. Ögün MN, Kurul R, Yaşar MF, Turkoglu SA, Avci Ş, Yıldız N. Effect of Leap Motion-based 3 D Immersive Virtual Reality Usage on Upper Extremity Function in Ischemic Stroke Patients. *Arq Neuropsiquiatr.* 2019;77:681–8.
 23. Wu Y-T, Chen K-H, Ban S-L, Tung K-Y, Chen L-R. Evaluation of leap motion control for hand rehabilitation in burn patients: An experience in the dust explosion disaster in Formosa Fun Coast. *Burns J Int Soc Burn Inj.* 2019;45:157–64.
 24. Tarakci E, Arman N, Tarakci D, Kasapcopur O. Leap Motion Controller-based training for upper extremity rehabilitation in children and adolescents with physical disabilities: A randomized controlled trial. *J Hand Ther Off J Am Soc Hand Ther.* 2020;33:220–8.el.
 25. García-García E, Sánchez-Herrera Baeza P, Cuesta-Gómez A. Efectividad de la realidad virtual en la rehabilitación del miembro superior en la lesión de la médula espinal Revisión sistemática. *Rev Neurol.* 2019;69:135–44.
 26. Lohse K, Shirzad N, Verster A, Hodges N, Van der Loos HFM. Video games and rehabilitation: using design principles to enhance engagement in physical therapy. *J Neurol Phys Ther JNPT.* 2013;37:166–75.
 27. Novak D, Nagle A, Keller U, Riener R. Increasing motivation in robot-aided arm rehabilitation with competitive and cooperative gameplay. *J Neuroengineering Rehabil.* 2014;11:64.
 28. Dimbwadyo-Terror I, Gil-Agudo A, Segura-Fragoso A, de los Reyes-Guzmán A, Trincado-Alonso F, Piazza S, et al. Effectiveness of the Virtual Reality System Toyra on Upper Limb Function in People with Tetraplegia: A Pilot Randomized Clinical Trial. *BioMed Res Int.* 2016;2016:6397828.