

31 JORNADAS DE FISIOTERAPIA  
CONGRESO VIRTUAL • 5 Y 6 DE MARZO DE 2021

# Nuevas tecnologías aplicadas en Fisioterapia



PONENCIAS • PRESENTATIONS



ESCUELA UNIVERSITARIA  
DE FISIOTERAPIA DE LA ONCE  
Universidad Autónoma de Madrid



La Escuela Universitaria de Fisioterapia de la ONCE organiza, durante el año 2021, la 31 edición de sus Jornadas de Fisioterapia anuales, cuyo motor principal es aportar una revisión y actualización en los temas de interés en el ámbito profesional de la Fisioterapia, siempre desde la perspectiva de la mejor evidencia científica disponible. En esta ocasión, el tema elegido ha sido las “Nuevas Tecnologías Aplicadas en Fisioterapia”.

La Fisioterapia es una disciplina de las más jóvenes en el ámbito de las Ciencias de la Salud en España, surgiendo como formación universitaria independiente en 1988, a partir del Real Decreto 1497/87 de 27 de noviembre que regula la creación de la Diplomatura en Fisioterapia. A partir de este momento, la profesión ha ido creciendo, desarrollándose y alcanzando una mayor representatividad e independencia en el mundo clínico y académico. En este último ámbito, la transformación de la Diplomatura en Fisioterapia al actual Título de Grado en Fisioterapia, a partir del curso 2008/09, ha ido consolidando la figura del fisioterapeuta, también en el ámbito de la investigación en salud.

Todo este desarrollo adaptativo ha demandado la adquisición de nuevas competencias por parte de los fisioterapeutas y la aparición de un nuevo paradigma profesional, más completo e integrador; basado en el diagnóstico y evaluación de los pacientes, el uso del razonamiento clínico y la aplicación de técnicas más orientadas a la prevención y la recuperación funcional integral. En este contexto, la Fisioterapia se está convirtiendo en una profesión cada vez más tecnificada. Las nuevas tecnologías, al igual que en otros aspectos de la sociedad, han irrumpido en el entorno sanitario, aportando beneficios como la optimización de las técnicas de evaluación, la mejora en la precisión en las intervenciones terapéuticas, así como herramientas que permiten otras formas de interacción fisioterapeuta-paciente.

La Escuela Universitaria de Fisioterapia de la ONCE no puede ser ajena a los rápidos cambios que se están produciendo en la profesión, gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías. En este

sentido, queremos dedicar la 31 edición de nuestras jornadas anuales a este tema tan de actualidad. Se pretende ofrecer una visión actualizada de las nuevas herramientas de evaluación y tratamiento que se están utilizando en neurorrehabilitación, patologías crónicas y dolor. Se aportará la evidencia y experiencia en el uso de tecnologías como los exoesqueletos, la realidad virtual y aumentada o las aplicaciones móviles.

Se ha contado con la participación de profesionales sanitarios de distintas disciplinas, de carácter nacional e internacional, todos ellos expertos en el empleo de nuevas tecnologías. Los ponentes de estas Jornadas aúnan la excelencia investigadora y científica, la calidad y la experiencia en la atención asistencial y la preocupación por el avance y el progreso de la disciplina.

Este libro incluye un compendio de los textos originales de aquellos autores que han querido dejar un testimonio escrito de su ponencia, ofreciendo una amplia visión de las intervenciones realizadas durante estas Jornadas.

La Escuela Universitaria de Fisioterapia de la ONCE quiere dar las gracias a todos los ponentes por aceptar la invitación a participar en este evento, a todos los asistentes por seguir confiando en las actividades formativas y científicas que se organizan desde esta Institución y, de forma especial, a la ONCE y a la Universidad Autónoma de Madrid, por el constante apoyo que prestan a esta Escuela.

La ONCE y la UAM seguirán apostando por la formación de ciegos como fisioterapeutas y, en el área de posgrado, por todos aquellos titulados, ciegos o no, que quieran formarse en esta Escuela.

Madrid, marzo de 2021

**D.ª Ana B. Varas de la Fuente**

Directora de la Escuela Universitaria de Fisioterapia de la ONCE

### **Coordinadora de las 31 Jornadas**

Irene Rodríguez Andonaegui

#### **Comité Científico**

Ana B.Varas de la Fuente  
Irene Rodríguez Andonaegui  
Susana García Juez  
Oscar Rubio García  
Ignacio González Secunza  
Juan Andrés Martín Gonzalo  
M.ª del Rocío Rueda Liébana  
Ángel M. Gil Agudo

#### **Comité Científico Evaluador de las Comunicaciones**

Cristina Serrano Veguillas  
João Mota de Sousa  
Juan Andrés Martín Gonzalo  
Ignacio González Secunza  
Oscar Rubio García  
Pilar Martín Rubio

#### **Comité Organizador**

Ana B.Varas de la Fuente  
Irene Rodríguez Andonaegui  
Luis Fernando Arribas González  
Julio A. Fernández Chinchilla  
Susana García Juez  
Ignacio González Secunza  
Juan Andrés Martín Gonzalo  
Pilar Martín Rubio  
Elena Oliver de la Chica  
Oscar Rubio García  
M.ª del Rocío Rueda Liébana  
Charo Sánchez-Rubio del Amo  
Marta Checa Vilardell  
Guiomar Martín San Gil  
João Mota de Sousa  
Cristina Serrano Veguillas  
Jose Luis Valero García

#### **Moderadores**

Mesa 1. Pilar Martín Rubio  
Mesa 2. Óscar Rubio García  
Mesa 3. Juan Andrés Martín Gonzalo  
Mesa 4. Irene Rodríguez Andonaegui  
Mesa 5. Ignacio González Secunza

#### **Colabora**

Dirección de Comunicación e Imagen  
del Grupo Social ONCE

## Sumario • Summary

---

---

### MESA 1 • SESSION 1 • Moderadora: Pilar Martín Rubio

---

<b>Uso de exoesqueletos en la reeducación de la marcha en pacientes con lesión medular</b>	
Ángel Manuel Gil Agudo .....	11
<b>Interfaces cerebro-máquina en la rehabilitación del paciente hemipléjico</b>	
Andrea Sarasola-Sanz .....	15
<b>Dispositivos tecnológicos para el aprendizaje motor en rehabilitación del miembro superior tras daño cerebral: sistema Armeo Spring®</b>	
Carolina Colomer Font .....	24
<hr/>	
MESA 2 • SESSION 2 • Moderador: Óscar Rubio García	
<hr/>	
<b>El análisis del movimiento como herramienta clínica y diagnóstica: identificación de biomarcadores basados en la alteración de la marcha</b>	
Juan Andrés Martín Gonzalo .....	34
<b>Biomechanical technologies for human functions assessment</b>	
David Garrido Jaén .....	45
<b>Últimos avances en ecografía musculoesquelética en fisioterapia</b>	
Juan Antonio Valera Calero .....	50
<b>Uso de tecnología y big data para el diagnóstico y tratamiento personalizado en Fisioterapia</b>	
Pablo Herrero Gallego y Sandra Calvo Carrión .....	54

---

### MESA 3 • SESSION 3 • Moderador: Juan Andrés Martín Gonzalo

---

<b>Virtual Reality as a holistic strategy in neurorehabilitation: From the training to the assessment of motor function</b>	
Edwin Daniel Oña Simbaña, Alberto Jardón Huete y Carlos Balaguer .....	60
<b>Realidad virtual y aumentada: aplicación clínica para el aprendizaje motor en el daño neurológico degenerativo</b>	
Rosa M.ª Ortiz Gutiérrez .....	64
<b>Realidad virtual en el paciente con ictus. Evidencia científica y aplicaciones clínicas en fisioterapia</b>	
Roberto Cano de la Cuerda .....	69

---

### MESA 4 • SESSION 4 • Moderadora: Irene Rodríguez Andonaegui

---

<b>Aplicación de la fisioterapia por medio de las nuevas tecnologías en el dolor de cuello</b>	
Josué Fernández Carnero .....	80
<b>New technological approaches to the physiotherapy treatment of patients with persistent pain</b>	
Jan Dommerholt .....	90

---

### MESA 5 • SESSION 5 • Moderador: Ignacio González Secunza

---

<b>Fisioterapia digital en la prevención y el tratamiento de enfermedades crónicas</b>	
Clara Bergé Ortíz .....	106
<b>Aplicaciones móviles en neurorrehabilitación</b>	
María Teresa Sánchez Rodríguez .....	115

---

COMUNICACIONES CIENTÍFICAS

---

<b>Práctica digital en fisioterapia durante el confinamiento por COVID-19</b> .....	129
<b>Efectividad del ejercicio aeróbico mediante telerrehabilitación en pacientes con fibromialgia en periodo de COVID-19</b> .....	132
<b>Comparación del movimiento de la columna torácica entre sujetos con y sin dolor lumbar crónico</b> .....	134
<b>Efectividad clínica de las intervenciones digitales en la cervicalgia. Metaanálisis y búsqueda de herramientas accesibles</b> .....	137
<b>Aplicaciones móviles para el tratamiento de incontinencia urinaria en mujeres</b> .....	140
<b>La realidad virtual, una nueva herramienta de tratamiento en pacientes con accidente cerebrovascular</b> .....	142
<b>Viabilidad de un programa de telerrehabilitación en pacientes cardíacos de bajo riesgo en Melilla</b> .....	145
<b>¿Mejora la Realidad Virtual los indicadores de salud en el superviviente con cáncer? Revisión sistemática</b> .....	147
<b>Validación del goniómetro hawk como sistema de medición articular para la articulación glenohumeral</b> .....	149
<b>Beneficios de la realidad virtual en niños y adolescentes con parálisis cerebral</b> .....	151
<b>Telerrehabilitación en la fisioterapia en el sistema musculoesquelético durante la pandemia del COVID-19</b> .....	153
<b>Análisis del área de oscilación mediante estabilometría en sujetos con diferentes clases de oclusión dental</b> .....	155
<b>Nuevas tecnologías de evaluación funcional para personas con diplegia espástica</b> .....	157
<b>Reconocimiento de patrones cinéticos en el ciclo de la marcha</b> .....	159

## MESA 1 • SESSION 1

Moderadora:  
**Pilar Martín Rubio**

# Uso de exoesqueletos en la reeducación de la marcha en pacientes con lesión medular

**Ángel Manuel Gil Agudo**

*Doctor en Medicina. Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid.*

*Unidad de Investigación de Biomecánica y Ayudas Técnicas. Hospital Nacional de Paraplégicos - Instituto Cajal del CSIC.*

*Jefe del Servicio de Rehabilitación del Hospital Nacional de Paraplégicos. Toledo.*

La lesión medular tiene un fuerte impacto en el individuo y la sociedad. Si tenemos en cuenta que se trata de una situación crónica para la persona, el impacto sobre el sistema de salud no se limita a la fase aguda de la lesión, si no que la persona con lesión medular debe enfrentar durante su vida enfermedades crónicas derivadas de dicha lesión. La recuperación de la capacidad de caminar no solo ha sido establecida como un objetivo prioritario por pacientes y personal clínico<sup>(1,2)</sup>, si no que la pérdida de esta capacidad está asociada a la aparición de trastornos secundarios como la desmineralización ósea, la atrofia muscular o las infecciones del tracto urinario<sup>(3)</sup>. En los últimos veinte años, estamos asistiendo a un incremento en la rehabilitación de la marcha de las denominadas terapias robóticas, debido probablemente, tanto al avance tecnológico como también a un avance en el conocimiento de la neuroplasticidad que inducen estos sistemas sobre los pacientes con patologías neurológicas<sup>(4)</sup>. En este fenómeno de neuroplasticidad se ha visto que, de forma más relevante, intervienen dos factores: la actividad específica orientada a tareas<sup>(5)</sup> y la repetición mantenida del movimiento<sup>(6)</sup>. Estos sistemas robóticos de reeducación de la marcha permiten, durante el entrenamiento, la repetición de innumerables ciclos de marcha, todos ellos son reproducibles y repetibles, es decir, permiten la ejecución de movimientos precisos con un alto número de repeticiones, facilitando el aprendizaje y la plasticidad. Inicialmente, surgieron máquinas robotizadas para caminar, utilizando dispositivos instalados sobre tapiz rodante equipados con unidades o elementos pasivos que movilizan las rodillas y las caderas durante la fase de oscilación de la marcha, como por ejemplo Lokomat, LOPES, ALEX o AutoAmbulator, o dispositivos denominados de efector distal, en los que los pies se colocan en placas con trayectorias programables que simulan las fases de apoyo y balanceo de la marcha, como por ejemplo GaitTrainer, HapticWalker, G-EO, LokoHelp<sup>(7-10)</sup>. Existen trabajos que describen estos dispositivos y examinan los efectos de la reeducación de la marcha con ellos en pacientes con distintas afecciones neurológicas, concluyendo que el entrenamiento con asistencia robótica mejora la función de la marcha en individuos con ACV y con lesión medular. No obstante, en algunas experiencias la velocidad y la resistencia de la marcha no resultaron ser significativamente diferentes en pacientes con lesión medular incompleta<sup>(11)</sup>. Además, existen ciertas desventajas en este tipo de entrenamiento, haciendo difícil la ejecución de patrones motores fisiológicos, por lo que se plantea la posibilidad de que los pacientes caminen por el suelo y realicen un desplazamiento efectivo, consiguiendo así un entorno de reeducación de

la marcha más real<sup>(12)</sup>. Es por ello que en los últimos años han surgido unos sistemas denominados exoesqueletos robotizados (ER) para la reeducación de la marcha que permiten que pacientes con lesión medular consigan un desplazamiento, fundamentalmente, en afectados en niveles de nervios interiores. Los más conocidos son Ekso (EksoBionics, Richmond, EE: UU.), Rex (Rex Bionics, Auckland, Nueva Zelanda), ReWalk (ARGO Medical Technologies, Israel) e Indego (Parker Hannifin, EE: UU.) que permiten al paciente con lesión medular ponerse de pie y caminar con una pauta de marcha preestablecida<sup>(11)</sup>.

Los ER se adaptan a las extremidades inferiores y disponen de motores eléctricos que movilizan las articulaciones para producir una marcha automática. Estos sistemas permiten realizar una marcha con desplazamiento sobre el suelo sin la ayuda de soporte parcial de peso ni del treadmill<sup>(12)</sup>. Probablemente, el más popular de ellos es el ReWalk (ReWalk Robotics, Inc., Marlborough, MA, (USA), que integra una estructura de bajo peso con unos actuadores sobre las caderas y las rodillas. Ofrece varios niveles de asistencia y comienza la deambulación gracias a un sensor que detecta la inclinación del tronco hacia delante como señal para iniciar la marcha. Los distintos modos de actuación (caminar hacia delante, pasar de sedestación a bipedestación, parar...) se controlan con una unidad situada en la muñeca del paciente. Otro exoesqueleto comercializado es el Indego (Parker Hannifin Corp., Cleveland, OH, USA) con un diseño modular que facilita su adaptación. Al igual que los dos anteriores, el Ekso (Ekso Bionics, Richmond, CA, USA) tiene actuadores en caderas y rodillas y dispone de una mochila que contiene las baterías y los controladores. Su software permite al clínico ajustar la cantidad de actuación aportada en cada extremidad y dispone de un módulo para que el control del dispositivo lo realice el terapeuta que acompaña al paciente. Estos tres exoesqueletos están aprobados por la FDA, ReWalk e Indego para su uso en centros clínicos y en la comunidad, mientras que Ekso solo para uso clínico con supervisión facultativa.

A diferencia de los ya descritos, el Exo-H2, su versión actualizada, Exo-H3 (Technaid S.L., España) y su versión comercializada Hank (Gogoa Mobility Robots, Guipúzcoa, España) tienen seis actuadores, incluyendo los dos tobillos para evitar el efecto del pie caído durante la marcha. Está dirigido a pacientes con lesión medular incompleta y su sistema de funcionamiento se basa en el modo "assist as needed" que permite una determinada desviación del patrón de marcha ideal antes de aplicar la fuerza correctora. Presenta una arquitectura de control abierta para poder compatibilizarlo con otras interfaces neurales como los sistemas de brain computer interface (BCI) o el interfaz cerebro-máquina; otras tecnologías facilitan el proceso de recuperación como la estimulación eléctrica funcional (FES)<sup>(13)</sup>.

El primer exoesqueleto comercializado que dispone de un sistema de equilibrio propio es el REX (REX Bionics, Nueva Zelanda), liberando para su uso al paciente del uso de muletas, como ocurre con el resto de los dispositivos. De este modo, su uso queda preferentemente reservado para tratar alteraciones en el balance postural, aunque también permite la marcha.

El HAL (Hybrid Assitive Limb) de la empresa japonesa Cyberdine se desarrolló inicialmente para asistir en la marcha a adultos mayores con debilidad muscular<sup>(14)</sup>, aunque también se emplea para la rehabilitación de la marcha en pacientes con lesión medular. Consta de un diseño modular que permite proporcionar actuación uni o bilateralmente en la cadera y/o rodilla. El sistema permite un control automático y, también voluntario, gracias a la activación de determinados músculos cuya señal es recogida por electrodos de EMG.

Como es de esperar por lo reciente de su aparición, las experiencias clínicas con exoesqueletos que se han llevado a cabo hasta el momento han sido con muestras pequeñas que dificultan la obtención de resultados significativos. No obstante, los beneficios que se han comunicado hasta el momento incluyen fortalecimiento de la musculatura, aumento de la velocidad y de la eficiencia de la marcha, así como, mejoras en aspectos de la lesión medular como son la espasticidad, el dolor, a nivel cardiovascular y del metabolismo, en el control del ritmo intestinal, en la osteoporosis y en la calidad de vida<sup>(15)</sup>.

Uno de los trabajos en los que se recoge un mayor tamaño muestral de pacientes, utilizando este tipo de dispositivos en un entorno clínico, es el que se realizó con el Ekso<sup>(16)</sup>. En este caso, se procedió a un estudio multicéntrico de un dispositivo con una notable implantación clínica. Aunque la muestra acumulada es amplia, los resultados se refieren a datos recogidos en centros en los que se usa el dispositivo, pero sin presentar grupo control. En cualquier caso, en ese estudio, al igual que en el presentado más adelante, la terapia con exoesqueletos se presenta como una terapia consistente, aplicable en un entorno clínico y con una muy pequeña incidencia de efectos adversos.

En un trabajo realizado por nuestro grupo con el exoesqueleto denominado Exo H2, no solo se presentó el dispositivo y su correcto funcionamiento, si no que también se mostró una aplicación clínica en un entorno hospitalario dentro de un programa de rehabilitación de la marcha de pacientes con lesión medular incompleta. El dispositivo mostró su robustez de funcionamiento. Se recogieron buenos datos sobre tolerancia del dispositivo en cuanto a dolor, fatiga y comodidad y ausencia de efectos no deseados. Obtuvimos buenos resultados en aspectos como la fatiga, el dolor o la ausencia de problemas en la piel del paciente o de alteraciones musculoesqueléticas, que son compatibles con los mostrados con el exoesqueleto ReWalk<sup>(17)</sup>. Respecto a las variables de eficacia, observamos una tendencia favorable, aunque existen limitaciones muestrales que impiden hacer aseveraciones contundentes<sup>(18)</sup>.

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto de Salud Carlos III y cofinanciado por FEDER (PI15/01437).

### Referencias bibliográficas

1. Van den Berg ME, Castellote JM, Mahillo-Fernández I, de Pedro-Cuesta J. Incidence of spinal cord injury worldwide: A systematic review. *Neuroepidemiology*. 2010;34:184-92.
2. Ditunno PL, Patrick M, Stineman M, Ditunno JF. Who wants to walk? Preferences for recovery after SCI: A longitudinal and cross-sectional study. *Spinal Cord*. 2008;46:500-6.

3. Esclarín A. *Lesión medular. Un enfoque multidisciplinario*. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010.
4. Esquenazi A, Packel A. *Robotic-assisted gait training and restoration*. *Am J Phys Med Rehabil*. 2012;91 Suppl 3:S217-27.
5. Van Kammen K, Boonstra A, Reinders-Messelink H, den Otter R. *The combined effects of body support and gait speed on gait related muscle activity: A comparison between walking in the Lokomat exoskeleton and regular treadmill walking*. *Plos One*. 2014;9:e107323.
6. Kwakkel G, Kollen B, Lindeman E. *Understanding the pattern of functional recovery after stroke: Facts and theories*. *Restor Neurol Neurosci*. 2004;22:281-99.
7. Chen G, Patten C. *Treadmill training with harness support: Selection of parameters for individuals with poststroke hemiparesis*. *J Rehabil Res Dev*. 2006;43:485-98.
8. Colombo G, Joerg M, Schreier R, Dietz V. *Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis*. *J Rehabil Res Dev*. 2000;37:693-700.
9. Veneman JF, Kruidhof R, Hekman EE, Ekkelenkamp R, van Asseldonk EH, van der Kooij H. *Design and evaluation of the LOPES exoskeleton robot for interactive gait rehabilitation*. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2007;15:379-86.
10. Del-Ama AJ, Koutsou AD, Moreno JC, de los Reyes A, Gil-Agudo A, Pons JL. *Review of hybrid exoskeletons to restore gait following spinal cord injury*. *J Rehabil Res Dev*. 2012;49:479-514.
11. Calderón-Bernal AM, Cano-de la Cuerda R, Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F, Cuesta-Gómez A, Miangolarra-Page JC. *Terapia robótica para la rehabilitación de la marcha en patología neurológica*. *Rehabilitación(Madr)*. 2015;49:177-92.
12. Louie DR, Eng JJ. *Powered robotic exoskeletons in post-stroke rehabilitation of gait: a scoping review*. *J NeuroEng Rehabil*. 2016;13:53.
13. Bortole M, Venkatakrishnan A, Zhu F, Moreno JC, Francisco GE, Pons JL, Contreras-Vidal JL. *The H2 robotic exoskeleton for gait rehabilitation after stroke. Early findings from a clinical study*. *J NeuroEng Rehabil*. 2017;12:12.
14. Ueba T, Hamada O, Ogata T, Inoue T, Shiota E, Sankai Y. *Feasibility and safety of acute phase rehabilitation after stroke using the hybrid assistive limb robot suit*. *Neurol Med Chir*. 2013;53(287).
15. Mekki M, Delgado AD, Fry A, Putrino D, Huang V. *Robotic rehabilitation and spinal cord injury: a narrative review*. *Neurotherapeutics*. 2018;15:604-17.
16. Baunsgaard CB, Nissen VU, Brust K, Frotzler A, Ribeill C, Kalke YB, et al. *Gait training after spinal cord injury: Safety, feasibility and gait function following 8 weeks of training with the exoskeleton from Ekso Bionics*. *Spinal Cord*. 2018;56:106-16.
17. Zeilig G, Weingarden H, Zwecker M, Dudkiewicz I, Bloch A, Esquenazi A. *Safety and tolerance of the ReWalk™ exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury: a pilot study*. *J Spinal Cord Med*. 2012;35:96-101.
18. A. Gil-Agudo, A.J. del Ama-Espinosa, V. Lozano-Berrio, A. Fernández-López, A. Megía García-Carpintero, J. Benito-Penalva, J.L. Pons. *Terapia robótica con el exoesqueleto H2 en la rehabilitación de la marcha en pacientes con lesión medular incompleta. Una experiencia clínica*. *Rehab(Madr)*. 2020;54(2):87-95.

## Interfaces cerebro-máquina en la rehabilitación del paciente hemipléjico

**Andrea Sarasola-Sanz**

Researcher and project manager. Institute for Medical Psychology and Behavioural Neurobiology. TECNALIA Research and Innovation. San Sebastián, Spain.

**Nerea Irastorza-Landa**

Institute of Medical Psychology and Behavioral Neurobiology/TECNALIA. Health Department. San Sebastián. Spain.

**Ander Ramos-Murguialday**

MSc, MSc, PhD. Institute of Medical Psychology and Behavioral Neurobiology/TECNALIA. Health Department. San Sebastián. Spain.

### 1. Introducción

#### 1.1. Ictus

El ictus es la tercera causa de muerte y una de las principales causas de discapacidad motora en el mundo<sup>(1)</sup>. Los efectos del ictus dependen de la localización del mismo y del grado de afectación, siendo la consecuencia más habitual la pérdida o limitación del movimiento de las extremidades del lado opuesto al hemisferio afecto.

El movimiento voluntario es el resultado de mecanismos complejos en los que el sistema nervioso central recluta grupos de músculos, de forma coordinada, con diferentes patrones de activación y perfiles temporales<sup>(2-5)</sup>. El daño cerebral local debido a un ictus a menudo afecta a la iniciación de comandos motores y/o a su flujo descendente hacia la médula espinal. Esto conlleva el desarrollo de patrones musculares de activación erróneos y, por lo tanto, a una coordinación patológica de las extremidades opuestas al hemisferio dañado. Así, la gran mayoría de estos pacientes no es capaz de realizar actividades de la vida diaria y requieren la asistencia de un cuidador o de sus familias, lo que afecta a su calidad de vida y a su integración en la sociedad, implicando un alto coste para ellos y para el sistema de salud<sup>(6)</sup>. Por ello, existen una serie de terapias de rehabilitación, actualmente en investigación, que buscan recuperar la función motora perdida o comprometida, mediante la inducción de cambios neuroplásticos.

#### 1.2. Neuroplasticidad y aprendizaje motor

La rehabilitación motora tras un ictus está caracterizada por cambios neuroplásticos que incluyen una reorganización estructural y funcional del cerebro<sup>(7,8)</sup>. Más concretamente, los cambios neuroplásticos consisten en la alteración y/o creación de nuevas sinapsis, el brote de dendritas y la producción de neuroquímicos, que son necesarios para crear circuitos com-

pensatorios que permitan recuperar la función motora perdida<sup>(9)</sup>. De esta forma, tiene lugar un reclutamiento de estructuras motoras intactas y adyacentes a la lesión, las cuales generan comandos motores destinados a los músculos comprometidos para que ejecuten una tarea<sup>(10)</sup>. Aunque las redes cerebrales implicadas en los procesos de aprendizaje y rehabilitación motora, así como los procesos neurales subyacentes, aún no se entienden completamente, hay evidencia de que el cerebro y los circuitos sensoriomotores inferiores pueden cambiar y reorganizarse en respuesta a un input sensorial, la experiencia y el aprendizaje<sup>(11-13)</sup>. Sin embargo, cómo fomentar el reaprendizaje de patrones de activación musculares naturales para lograr la recuperación de la función motora de forma efectiva sigue siendo un reto sin resolver. En los últimos años, se han introducido avances tecnológicos como el uso de robots y se han desarrollado distintos métodos de rehabilitación que incluyen el entrenamiento de tareas motoras con feedback visual y propioceptivo, demostrando que éstos son efectivos para inducir el aprendizaje motor<sup>(10,11,22,14-21)</sup>.

### 1.3. Rehabilitación motora tras un ictus

La fisioterapia es el método tradicionalmente aceptado para la rehabilitación de pacientes de ictus. Métodos como la terapia con empleo de espejos y la terapia de movimiento inducido por restricción del hemilado menos afectado se han utilizado ampliamente para complementar la terapia tradicional. Sin embargo, existe evidencia de que cuanto más repetitiva, intensiva y motivante sea una terapia mayor serán los cambios neuroplásticos y la retención y generalización de las habilidades readquiridas<sup>(10-12)</sup>. A raíz de esto, en la última década, las terapias de neurorrehabilitación para pacientes de ictus se han centrado en el uso de robots que permiten un entrenamiento repetitivo e intensivo, requiriendo menos tiempo y esfuerzo por parte de los clínicos.

Se ha testado una gran cantidad de robots para el miembro superior en ensayos clínicos aleatorizados con pacientes de ictus, en los que éstos realizan tareas motoras con el robot utilizando distintos paradigmas y grados de asistencia, en función de la severidad del déficit presentado por el paciente<sup>(14-19)</sup>. Aunque estos estudios demuestran que las terapias con robots mejoran el control motor de los pacientes<sup>(19-20)</sup>, no hay una evidencia sólida del efecto positivo de dichas terapias en las habilidades funcionales (capacidad de realizar un movimiento o actividad) ni en su efecto a largo plazo<sup>(21)</sup>. Además, los pacientes de ictus gravemente afectados no son elegibles para este tipo de terapias, ya que no conservan movimiento residual en el miembro superior; lo cual es necesario para realizar las tareas motoras asistidas con robots. Estas limitaciones han abierto las puertas al desarrollo de terapias alternativas basadas en la actividad cerebral como las interfaces cerebro-máquina (BMIs) o las interfaces mioeléctricas (MIs), que emplean la actividad muscular residual que poseen la gran mayoría de pacientes y pueden emplearse, incluso, en ausencia de dicho movimiento residual.

## 2. Interfaces neurales para rehabilitación motora

La recuperación de la función motora tras un ictus requiere la organización de las estructuras motoras del sistema nervioso central mediante cambios neuroplásticos. Estos cambios pueden ser facilitados de forma artificial mediante tres paradigmas de estimulación: la estimulación repetitiva, la estimulación pareada y la estimulación en bucle cerrado<sup>(23)</sup>. Las interfaces neurales son herramientas óptimas para la estimulación en bucle cerrado, que asocia voluntad de movimiento con acción, excitando las estructuras motoras y reforzando las conexiones sinápticas.

Más específicamente, las interfaces neurales como las interfaces mioeléctricas (MIs) o las interfaces cerebro-máquina (BMIs) adquieren, decodifican y traducen la actividad muscular o cerebral en la acción de un actuador. Por ejemplo, la información decodificada a partir de los músculos o el cerebro mientras el paciente trata de mover su brazo afecto puede traducirse en comandos enviados a un robot o prótesis que mueva el brazo afecto de la forma deseada, excitando así las vías aferentes del paciente. Por lo tanto, estas interfaces neurales establecen una relación de tiempos consistente entre el feedback aferente que recibe el paciente mediante el actuador y las señales electrofisiológicas eferentes que produce al intentar mover el brazo afecto, induciendo plasticidad Hebbiana y, por ende, la recuperación de la función motora.

Además, al contrario que otras terapias que requieren movimiento residual en el brazo afecto, una importante ventaja de las MIs y BMIs es que pueden usarse por pacientes totalmente paralizados o pacientes con EMG residual decodificable, aunque no sea lo suficientemente fuerte como para producir un movimiento del brazo afecto.

### 2.1. Interfaces mioeléctricas

Existen múltiples estrategias de control para las interfaces mioeléctricas. Las más simples utilizan controladores proporcionales o basados en un umbral que activan un movimiento predefinido del actuador cuando la actividad electromiográfica (EMG) alcanza una amplitud de umbral determinada. Otras utilizan paradigmas más complejos basados en clasificación o decodificación continua, las cuales permiten un control mioeléctrico más intuitivo y natural, dando lugar a un control más fino y hábil del actuador. Sin embargo, a la hora de aplicar estos paradigmas surgió la duda de si era posible decodificar el EMG en pacientes hemipléjicos con cualquier grado de discapacidad. Se ha demostrado, a través de numerosos estudios, que la actividad EMG es decodificable (con grados de acierto funcionales) en pacientes crónicos y de severidad de afectación media e, incluso también, en gran parte de los gravemente afectados<sup>(6,24-27)</sup>. Así, estas técnicas de clasificación del EMG se han investigado ampliamente para la rehabilitación post-ictus dando lugar a resultados positivos, pero todavía limitados<sup>(6,24,25,28-34)</sup>.

Como hemos mencionado anteriormente, tras un ictus, los pacientes que adquieren una discapacidad motora tienden a desarrollar patrones de activación muscular patológicos. Aunque el objetivo de las interfaces mioeléctricas es corregir estos patrones para recuperar la función

motora Cesqui et al., hace unos años, plantearon la duda de si usar un decodificador o interfaz mioeléctrica entrenada con datos del brazo afecto, es decir, un decodificador ipsilateral que se construye con datos del brazo afecto para decodificar movimientos del mismo brazo. Estaría en realidad reforzando la existencia y mantenimiento de actividad patológica, en lugar de estar corrigiéndola, induciendo por tanto una “mala neuroplasticidad”<sup>(25)</sup>. Cesqui et al. abordaron este problema utilizando un decodificador entrenado en datos de nueve participantes sanos para decodificar la actividad patológica de pacientes de ictus cuando realizaban tareas de alcance hacia cuatro direcciones espaciales diferentes. Aunque este método evita el problema de la inducción de la “mala neuroplasticidad”, conlleva la necesidad de reclutar a un gran grupo de pacientes sanos y que las características de dicho grupo se parezcan a los pacientes que utilizarán el sistema.

Para evitar estas complicaciones, Sarasola-Sanz et al. demostraron que un decodificador en espejo, entrenado en datos del brazo sano del paciente podía decodificar de forma satisfactoria la actividad del brazo afecto e imponer un modelo de patrones de actividad muscular correctos que pudiese servir al paciente para corregir los patrones patológicos y recuperar la función motora<sup>(26)</sup>.

## 2.2. Interfaces cerebro-máquina

El primer estudio que utilizó una BMI para la rehabilitación del ictus fue el de Buch et al.<sup>(35)</sup>. El feedback que recibieron los pacientes en este estudio no fue en tiempo real, lo que puede que fuese el motivo por el que no experimentaron mejora clínica alguna.

No fue hasta 2013 cuando se publicó el primer estudio clínico controlado y doble ciego que demostró la eficacia del uso de una BMI para rehabilitación motora<sup>(6)</sup>. Treinta y dos pacientes crónicos y severamente afectados fueron divididos en un grupo de intervención y en un grupo de control, los cuales recibieron feedback (contingente a la actividad cerebral o aleatorio, en función del grupo) de su actividad cerebral mediante el movimiento de un exoesqueleto robótico colocado en su brazo afecto. Tras veinte sesiones de entrenamiento con la BMI, complementada con fisioterapia, se observó un aprendizaje motor, una reorganización cerebral y una recuperación de la función motora significativa tan solo en el grupo de intervención.

Estudios posteriores han replicado lo demostrado por Ramos-Murguialday et al., proporcionando más evidencia del potencial de las BMIs para la rehabilitación motora post-ictus, incluso en estado crónico<sup>(36-39)</sup>.

Además, se ha demostrado que las BMI pueden servir también para identificar biomarcadores (e.g. basados en EEG) que sirven para el diagnóstico, la predicción de la posible recuperación del paciente o de la efectividad de una terapia, para poder así ajustar mejor el tratamiento a las características de cada paciente<sup>(40)</sup>.

## 2.3. Interfaces cerebro-máquina híbridas

Existe un consenso general sobre la necesidad de desarrollar nuevas metodologías que mejoren el link contingente entre la detección de la intención de movimiento y el feedback aferente del actuador. A pesar de los resultados positivos alcanzados por los múltiples estudios que utilizan MIs y BMIs, aún no está claro cuál es el paradigma o combinación óptima de señal de control (EMG, EEG u otros métodos de grabación de actividad neuronal como infrarrojos, magnetoencefalografía, etc.) y actuador (exoesqueleto, estimulador eléctrico, etc.). A raíz de esta necesidad, se ha propuesto recientemente el uso combinado de varias señales de control, dando lugar a lo que se han denominado interfaces cerebro-máquina híbridas (hBMIs).

Hay evidencia de que los movimientos del brazo hacia diferentes direcciones vienen dados por la modulación de diferentes poblaciones neutrales<sup>(41)</sup>. Sin embargo, no se han alcanzado niveles fiables en la detección de movimientos hacia varias direcciones mediante sensores cerebrales no invasivos (e.g., EEG). La introducción de señales EMG en el control de la BMI permite enriquecer dicho control y decodificar movimientos más complejos como el alcance hacia distintas direcciones o, incluso, movimientos de la muñeca y los dedos<sup>(28,42-44)</sup>. Por lo tanto, estas hBMIs que combinan las señales de EEG y EMG para el control del actuador pueden llevar a una decodificación más fiable y robusta de la intención de movimiento<sup>(45-47)</sup> y al control de más grados de libertad<sup>(48-49)</sup>, dando lugar a un control más habilidoso y fluido del actuador.

No obstante, a pesar de los resultados alentadores obtenidos en los estudios con hBMIs, esta tecnología está aún en desarrollo y son necesarios más experimentos en un mayor número de pacientes para evaluar su eficacia en la rehabilitación motora post-ictus.

## 3. Conclusiones y perspectivas de futuro

Las interfaces neurales nos han proporcionado conocimiento sobre los mecanismos neuroplásticos del cerebro. Varios estudios han demostrado que establecer un link contingente entre la actividad cerebral y los movimientos de la extremidad paralizada puede dar lugar a una recuperación significativa de la función motora, sugiriendo que las terapias con BMI pueden resultar más eficaces que las terapias de la práctica clínica habitual. Sin embargo, aún no se ha alcanzado una recuperación completa de dicha función, ya que las interfaces neurales están todavía en estado de desarrollo y presentan varias limitaciones.

Desde el punto de vista de la decodificación de la intención de movimiento, todavía es un reto el decodificar de forma fiable y robusta todos los grados de libertad de movimiento de la extremidad superior, para ofrecer un control habilidoso y natural como, por ejemplo, la manipulación de objetos. Mediante electrodos implantados en la corteza cerebral se puede alcanzar una decodificación más fiable que con sensores no invasivos. Sin embargo, la aceptabilidad de la tecnología invasiva todavía es baja debido a los riesgos que conlleva la cirugía<sup>(50)</sup>. Por otro lado, las hBMIs pueden mejorar los resultados alcanzados por las BMIs no invasivas, combinando la actividad



of a Robotic Exoskeleton in Reaching Movements. in *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics* (2017).

29. Nge0, J. G., Tamei, T. & Shibata, T. Continuous and simultaneous estimation of finger kinematics using inputs from an EMG-to-muscle activation model. *J. Neuroeng. Rehabil.* 11, (2014).

30. Farmer, S. et al. Within-socket Myoelectric Prediction of Continuous Ankle Kinematics for Control of a Powered Transtibial Prosthesis. *J. Neural Eng.* DOI. *J. Neural Eng.* DOI. *J. Neural Eng.* 11, 56027–56027 (2014).

31. Fougner, A. L., Stavdahl, Ø. & Kyberd, P. J. System training and assessment in simultaneous proportional myoelectric prosthesis control. *J. Neuroeng. Rehabil.* 11, 75 (2014).

32. Hahne, J. M. et al. Linear and Nonlinear Regression Techniques for Simultaneous and Proportional Myoelectric Control. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 22, 269–279 (2014).

33. Liu, J. et al. EMG-Based Continuous and Simultaneous Estimation of Arm Kinematics in Able-Bodied Individuals and Stroke Survivors. *Front. Neurosci.* 11, 480 (2017).

34. Vujaklija, I. et al. Online mapping of EMG signals into kinematics by autoencoding. doi:10.1186/s12984-018-0363-1.

35. Buch, E. et al. Think to move: A neuromagnetic brain-computer interface (BCI) system for chronic stroke. *Stroke* 39, 910–917 (2008).

36. Ono, T. et al. Brain-computer interface with somatosensory feedback improves functional recovery from severe hemiplegia due to chronic stroke. *Front. Neuroeng.* 7, 19 (2014).

37. Darvishi, S., Ridding, M. C., Hordacre, B., Abbott, D. & Baumert, M. Investigating the impact of feedback update interval on the efficacy of restorative brain-computer interfaces. *R. Soc. Open Sci.* 4, 170660 (2017).

38. Frolov, A. A. et al. Post-stroke Rehabilitation Training with a Motor-Imagery-Based Brain-Computer Interface (BCI)-Controlled Hand Exoskeleton: A Randomized Controlled Multicenter Trial. *Front. Neurosci.* 11, 400 (2017).

39. Ang, K. K. et al. A Randomized Controlled Trial of EEG-Based Motor Imagery Brain-Computer Interface Robotic Rehabilitation for Stroke. *Clin. EEG Neurosci.* 46, 310–320 (2015).

40. Ray, A. M., Figueiredo, T. D. C., López-Larraz, E., Birbaumer, N. & Ramos-Murguialday, A. Brain oscillatory activity as a biomarker of motor recovery in chronic stroke. *Hum. Brain Mapp.* 41, 1296–1308 (2020).

41. Georgopoulos, A. P., Schwartz, A. B. & Kettner, R. E. Neuronal population coding of movement direction. *Science* (80-). (1986) doi:10.1126/science.3749885.

42. Parker, P., Hudgins, B., Parker, P., Englehart, K. & Hudgins, B. Myoelectric signal processing for control of powered prostheses Invasive myoelectric control View project Confidence-Based Rejection Threshold and User Error View project Myoelectric signal processing for control of powered limb prostheses. *Artic. J. Electromyogr. Kinesiol.* (2007) doi:10.1016/j.jelekin.2006.08.006.

43. Sarasola-Sanz, A. et al. EMG-based multi-joint kinematics decoding for robot-aided rehabilitation therapies. in *2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)* 229–234 (IEEE, 2015). doi:10.1109/ICORR.2015.7281204.

44. Tenore, F. et al. Decoding of individuated finger movements using surface Electromyography Decoding of individuated finger movements using surface Electromyography. 0–24.

45. Kiguchi, K. & Hayashi, Y. A study of EMG and EEG during perception-assist with an upper-limb power-assist robot. in *2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation* 2711–2716 (IEEE, 2012). doi:10.1109/ICRA.2012.6225027.

46. Leeb, R., Sagha, H., Chavarriaga, R. & Millán, J. del R. A hybrid brain-computer interface based on the fusion of electroencephalographic and electromyographic activities. *J. Neural Eng.* 8, 025011 (2011).

47. Li, X. et al. A motion-classification strategy based on sEMG-EEG signal combination for upper-limb amputees. *J. Neuroeng. Rehabil.* 14, (2017).

48. Sarasola-Sanz, A. et al. A hybrid brain-machine interface based on EEG and EMG activity for the motor rehabilitation of stroke patients. in *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)* 895–900 (IEEE, 2017). doi:10.1109/ICORR.2017.8009362.

49. Kiguchi, K., Dulantha LALITHARATNE, T. & Hayashi, Y. Estimation of Forearm Supination/Pronation Motion Based on EEG Signals to Control an Artificial Arm \*. *J. Adv. Mech. Des. Syst. Manuf.* 7, (2013).

50. Waldert, S. Invasive vs. non-invasive neuronal signals for brain-machine interfaces: Will one prevail? *Frontiers in Neuroscience* vol. 10 (2016).

51. Markus Ray, A., López-Larraz, E., da Cruz Figueiredo, T., Birbaumer, N. & Ramos-Murguialday, A. Movement-Related Brain Oscillations Vary with Lesion Location in Severely Paralyzed Chronic Stroke Patients. *ieeexplore.ieee.org* (2017). doi:10.0/Linux-x86\_64.

52. Park, W., Kwon, G. H., Kim, Y.-H., Lee, J.-H. & Kim, L. EEG response varies with lesion location in patients with chronic stroke. *J. NeuroEngineering Rehabil.* 2016 131 13, 21 (2016).

53. Stepien, M. et al. Event-related desynchronization of sensorimotor EEG rhythms in hemiparetic patients with acute stroke. *Neurosci. Lett.* 488, 17–21 (2011).

54. Ramos-Murguialday, A. et al. Proprioceptive Feedback and Brain Computer Interface (BCI) Based Neuroprostheses. *PLoS One* 7, (2012).

55. Del-Ama, A. J. et al. Review of hybrid exoskeletons to restore gait following spinal cord injury. *rehab. research.va.gov* 49, 497–514 (2012).

56. Hortal, E. et al. Using a brain-machine interface to control a hybrid upper limb exoskeleton during rehabilitation of patients with neurological conditions. *J. Neuroeng. Rehabil.* 12, (2015).

# Dispositivos tecnológicos para el aprendizaje motor en rehabilitación del miembro superior tras daño cerebral: sistema Armeo Spring®

**Carolina Colomer Font**

Doctora en Medicina. Especialista en Medicina Física y Rehabilitación.

Directora Clínica. NeuroRHB - Servicio de Neurorrehabilitación Hospitales Vithas.

## Introducción

La Federación Española de Daño Cerebral Adquirido (FEDAC) define el Daño Cerebral Adquirido (DCA) como aquella lesión de cualquier origen que se produce de manera aguda en las estructuras encefálicas de personas que han nacido sin ningún tipo de daño y que provoca en el individuo un déficit en su capacidad funcional y en su calidad de vida<sup>(1)</sup>. Las principales consecuencias derivadas de un DCA incluyen alteraciones en el nivel de consciencia, alteraciones cognitivas, motoras y sensitivas, en la deglución, el lenguaje, a nivel emocional y conductual. En su conjunto, esta particular combinación de déficits provocarán un deterioro en la funcionalidad de la persona, a distintos niveles, con un impacto evidente sobre el nivel de necesidad de asistencia<sup>(5)</sup>.

La causa más prevalente de daño cerebral en nuestro país es el ictus (aunque entre los pacientes más jóvenes la principal causa son los TCE)<sup>(2)</sup>. La World Health Organization (WHO) define el ictus como “signos o síntomas clínicos de rápida evolución secundarios a la alteración de la función cerebral, focal o en ocasiones global, que duran más de 24 horas o suponen la muerte sin otro origen aparente que el vascular”<sup>(3)</sup>. El ictus supone la segunda causa de muerte después de la cardiopatía isquémica. Es la principal causa de morbilidad en el mundo y la primera causa de discapacidad motora. Los problemas crónicos en la esfera motora están presentes en más del 50% de los pacientes, limitando su incorporación a las Actividades Básicas de la Vida Diaria (ABVD), la vida social y la calidad de vida en general<sup>(4)</sup>.

La afectación motora del hemicuerpo contralateral a la lesión, o hemiparesia, es el síntoma más común tras un ictus<sup>(6)</sup>. “Hemiparesia” es un término que reúne los síntomas motores positivos y negativos secundarios a un ictus, incluyendo debilidad, alteración del control motor y espasticidad<sup>(6)</sup>. Aunque se manifieste de forma claramente predominante en el brazo y/o pierna del hemicuerpo parético, esta afectación desorganiza de forma global a todo el cuerpo.

Tras un ictus, entre el 55 y el 85% de los sujetos tienen un brazo parético que causa limitación motora, importantes dificultades para incorporar ese miembro en las actividades de la vida diaria, de la vida profesional y de la vida social, además de un impacto negativo en la calidad de vida<sup>(7-10,50)</sup>. La afección implica debilidad, espasticidad y aparición de sinergias musculares no deseadas, entre otros aspectos. La afectación motora del miembro superior con frecuencia se acompaña de déficits

neurológicos en otras esferas, como consecuencia del DCA, que van a condicionar la recuperación de la función en ese miembro superior, como son los déficits en las diferentes modalidades de sensibilidad, el hombro doloroso o alteraciones cognitivas o perceptivas, como la negligencia<sup>(11)</sup>.

La recuperación de las alteraciones motoras tras ictus tiene un perfil algorítmico, no lineal<sup>(11)</sup>. La mejoría probablemente acontece como consecuencia de una complicada combinación de procesos espontáneos y procesos mediados por el aprendizaje que incluyen procesos de restitución, sustitución y compensación<sup>(11)</sup>. En líneas generales, aunque el nivel y patrón de recuperación motora global varía según la región afectada y la severidad del déficit, en la mayoría de los pacientes predomina la recuperación motora espontánea durante los tres primeros meses y una recuperación mediada por aprendizaje a partir de ese momento<sup>(11,12)</sup>. Se han objetivado recuperación del movimiento y de la función de mano y brazo años después de una lesión cerebral, así como muestras de reorganización cerebral asociadas a recuperación real o funcional a través de mecanismos de compensación en fases subagudas o crónicas tras ictus<sup>(11,10)</sup>, en las que sabemos que los pacientes pueden seguir respondiendo de forma positiva a la rehabilitación<sup>(6)</sup>.

## Aprendizaje motor y neurorrehabilitación

El sistema motor del ser humano es capaz de aprender a través de la práctica y la experiencia<sup>(14)</sup>. El aprendizaje motor se puede definir como “un conjunto de procesos asociados a la práctica o a la experiencia que conlleva cambios relativamente permanentes en la capacidad de respuesta de un individuo” (Schmidt)<sup>(15)</sup>; implica la consolidación de la habilidad aprendida, diferenciándose de las simples mejoras en la ejecución de la tarea motora<sup>(16)</sup>.

Podemos distinguir tres fases en el aprendizaje motor<sup>(17)</sup>: una etapa inicial (ejecución lenta, con supervisión sensorial estrecha, movimientos irregulares, tiempos variables de ejecución); una fase intermedia (aprendizaje gradual del patrón sensoriomotor, aumento de velocidad); y una etapa avanzada (movimientos rápidos, automatizados, homogéneos, de elevado control). Es decir, la adquisición de habilidades motoras progresa desde la necesidad de un control explícito en las fases tempranas hacia un control mucho más automático o implícito, cuando ese aprendizaje se ha consolidado<sup>(17)</sup>.

Por otra parte, habitualmente se consideran dos grandes tipos de aprendizaje que implican áreas, redes y circuitos cerebrales diferentes<sup>(13,18)</sup>:

- En el aprendizaje implícito o no declarativo, el sujeto aprende las propiedades de un estímulo a base de repeticiones, aprendiendo tareas que se pueden automatizar en ausencia de un elevado nivel de atención o pensamiento consciente. Incluye tipos de aprendizaje como la habituación, sensibilización, condicionamiento clásico, condicionamiento operante y el aprendizaje procedimental, que es una de las formas más complejas de aprendizaje implícito. El sistema neuronal cerebral que subyace a este tipo de aprendizaje se compone de redes de estructuras frontales que incluyen el córtex sensoriomotor, los ganglios basales, la corteza parietal y el cerebelo.

- Por otro lado, el aprendizaje explícito o declarativo requiere unos procesos atencionales y una conciencia, resultando en aprendizajes que pueden ser expresados de forma consciente. Están implicadas áreas y circuitos neuronales que incluyen el córtex cingulado anterior, el córtex prefrontal, el núcleo caudado, los lóbulos temporales mediales y el hipocampo.

Tras un ictus, puede verse afectada la ejecución del movimiento y, también, la capacidad de aprender actos motores.

### **Principios de Aprendizaje Motor**

Los “principios de aprendizaje motor” hacen referencia a las condiciones que se han objetivado como óptimas para que el aprendizaje de tareas motoras se lleve a cabo.

Los principios más destacados son<sup>(6,10,14,16,19-28)</sup>:

- La intensidad del entrenamiento.
- Entrenamientos dirigidos a la tarea específica.
- Significado funcional de la tarea para la persona.
- Atención activa por parte de la persona.
- Motivación.
- Aporte de información respecto a la ejecución del ejercicio (feedback): de resultados o de ejecución; extrínseco o intrínseco; concurrente o terminal; visual, auditivo propioceptivo.
- Distribución de la práctica. Variabilidad.
- Motivación.
- Nivel de dificultad.
- Estimulación multisensorial.

La neurorrehabilitación se basa en el hecho de que los principios de aprendizaje motor se pueden aplicar a la recuperación motora tras una lesión cerebral y que el entrenamiento puede desembocar en mejorías permanentes en la función de pacientes con déficits motores. De hecho, el proceso de recuperación de las habilidades motoras tras un ictus no es más que un proceso de reaprendizaje<sup>(29)</sup> con patrones y características semejantes, en muchos aspectos, a los de la población general. Como sabemos, la plasticidad cerebral es la base de la recuperación neurológica tras un DCA. Estudios con estimulación cortical en animales y neuroimagen funcional en adultos muestran que el aprendizaje motor en general y la recuperación tras ictus comparten mecanismos de reorganización cortical comunes<sup>(6)</sup> y que los factores clave para inducir mecanismos de plasticidad cerebral adaptativos tras el ictus son similares a aquellos que son importantes en la adquisición de nuevas habilidades motoras, en general, basados en los principios de aprendizaje motor en sujetos sanos<sup>(10)</sup>. Un artículo publicado en 2019<sup>(19)</sup> recopila cambios neuronales en relación a la aplicación específica de distintos principios de neurorrehabilitación. El aprendizaje implica procesos cognitivos como la atención, la memoria o las funciones ejecutivas<sup>(30)</sup>, que se pueden ver afectados tras el ictus, además de las funciones motoras. No obstante, aunque la expresión y el proceso de

aprendizaje puede estar alterado tras una lesión cerebral, varios estudios afirman que la capacidad de aprendizaje motor está preservada tras ictus en una medida u otra<sup>(14)</sup>.

### **Robots en la rehabilitación del miembro superior tras daño cerebral. Armeo Spring®**

El objetivo prioritario de la rehabilitación, en pacientes con pérdida de movimiento en el miembro superior, va a ser el reaprendizaje de habilidades motoras concretas y su incorporación en tareas de la vida diaria<sup>(10)</sup>. En neurorrehabilitación, uno de los retos importantes del clínico es identificar los entornos o herramientas que propicien dicho aprendizaje motor en los pacientes, ajustándose de forma más óptima en cada caso a las condiciones consideradas más favorables.

Desde hace más de dos décadas, en la rehabilitación del miembro superior los robots se emplean para asistir los procesos de neurorrehabilitación del brazo y de la mano, y varios estudios han objetivado beneficios funcionales significativos<sup>(3,31-34)</sup>.

La robótica se puede definir como “la ciencia y tecnología del diseño de sistemas mecatrónicos capaces de generar y controlar el movimiento y la fuerza”<sup>(35)</sup>. La robótica en rehabilitación supone la “aplicación de sistemas de control electrónicos informatizados a dispositivos mecánicos diseñados para asistir funciones humanas en la rehabilitación (...)”<sup>(3)</sup>. Muchas de las características de los sistemas robóticos pueden facilitar la ejecución de programas de rehabilitación basados en estos aspectos clave del aprendizaje motor.

### **Tipos de robots empleados en la RHB del miembro superior parético<sup>(3,26,27,36-43)</sup>**

La funcionalidad del miembro superior, en concreto de la mano, es versátil y compleja, por lo que al diseñar o indicar un sistema robótico hay que tener en cuenta varias consideraciones. Existe una amplia variedad de Robots para el miembro superior parético, con distintas características según:

- a. El lugar de aplicación de la fuerza: end-effector o exoesqueleto.
- b. Los tipos de asistencia al movimiento: pasivo, activo, asistido, resistido.
- c. El control de la trayectoria.
- d. El segmento del miembro superior, entrenamiento bilateral.
- e. Los grados de libertad de movimiento.

Hasta la fecha no hay resultados consistentes sobre qué tipo de sistema robótico es más ventajoso, en líneas generales, para la rehabilitación del miembro superior parético<sup>(44,47)</sup>, asumiendo que los sistemas robóticos sean igualmente capaces de proporcionar un entrenamiento intensivo, repetitivo y dirigido a una tarea específica, sí que se sugiere que el sistema que incentiva mayor componente voluntario, activo y atencional al movimiento será el que más ventajas aporte<sup>(42,45,46)</sup>.

También hay que considerar que la fuerza que proporcione el sistema sea la más adecuada en cuanto a intensidad y dirección, teniendo en cuenta que la debilidad de un miembro hemiparético

no es uniforme<sup>(45)</sup> y que el sistema sea capaz de inducir una terapia de “fuerza guiada”, es decir, que deje de asistir un movimiento cuando la trayectoria sea claramente errónea; esto es ventajoso frente a otros tipos de movilización en determinados casos<sup>(45)</sup>.

En relación a la lesión y la actividad cerebral, un estudio ha demostrado que la integridad de la sustancia blanca predice las ganancias funcionales tras un entrenamiento robótico de la mano y el brazo<sup>(32)</sup>; otro revela que existía correlación entre una menor amplitud en los potenciales motores evocados en la TMS (estimulación magnética transcraneal) y con menor índice de lateralidad en la RMf (resonancia magnética funcional), con una mejor evolución en los resultados de la escala B&B (Box and Block) tras un entrenamiento robótico<sup>(31)</sup>. En cualquier caso, la elección óptima de un sistema robótico va a depender, probablemente, de la situación específica de los pacientes que van a ser entrenados con dicho Robot.

Armeo Spring ®: El sistema Armeo Spring forma parte de los robots de tipo exoesqueleto, está dirigido al control global del miembro superior (proximal y distal), proporciona asistencia soportando el peso de la gravedad y está asociado a un entorno virtual que permite integrar los movimientos en tareas funcionales. El exoesqueleto abraza el miembro superior de proximal a distal, magnificando cualquier movimiento activo residual del miembro hemiparético en un espacio tridimensional. La longitud de cada módulo es ajustable para alinear el exoesqueleto con las articulaciones del brazo. A nivel distal, dispone de un sistema que detecta la presión de empuñadura, pudiéndose ajustar su sensibilidad en función de la situación del paciente. Los entornos virtuales están diseñados para ofrecer distintos niveles de dificultad en diversos parámetros (dirección de los movimientos, velocidad, área de desplazamiento, etc.) y ofrecer un carácter funcional a la tarea ejercida. El sistema también es capaz de medir y ofrecer información sobre determinados parámetros del movimiento (resistencia, fuerza, rango y coordinación).

El exoesqueleto del sistema robótico Armeo Spring® no moviliza activamente el miembro superior, sino que asiste el movimiento al desgravitar el peso del mismo. Aunque se desconoce el mecanismo preciso mediante el cual la desgravitación del miembro afecta al control motor, se han objetivado beneficios a nivel funcional motor y en cuanto al aumento del área de trabajo en sujetos con ictus crónico<sup>(49)</sup>. En pacientes hemiparéticos está demostrado que el área de activación cortical del miembro parético va a aumentar proporcionalmente al peso descargado<sup>(48)</sup>.

Las principales ventajas del Armeo® son que permite trabajar de forma repetitiva, individualizada e interactiva a través de un entorno virtual, que le aporta un sentido funcional a los movimientos que entrena, permitiendo asimismo enfocar el entrenamiento a tareas específicas mediante protocolos con dosis e intensidades elevadas<sup>(11,43,47,50,51)</sup>.

Una revisión del 2020 recopila y analiza los estudios clínicos publicados hasta la fecha sobre el uso del dispositivo Armeo® (Armeo Power® y Armeo Spring®) para la rehabilitación del miembro superior afecto tras ictus, objetivando mejoría significativa en diversas escalas clínicas<sup>(50)</sup>.

## Referencias bibliográficas

1. IB G. *Guía Clínica de Neuro-Rehabilitación en Daño Cerebral Adquirido. Fund Reintegra (Internet). 2013.*
2. Instituto Nacional de Estadística. *Encuesta de Discapacidad, Autonomía personal y situaciones de Dependencia (EDAD). Año 2008. Instituto Nacional de Estadística. 2008.*
3. Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, Van Wegen EEH, Meskers CGM, Kwakkel G. *Effects of Robot-Assisted Therapy for the Upper Limb after Stroke. Neurorehabilitation and Neural Repair. 2017.*
4. Timmermans AAA, Lemmens RJM, Monfrance M, Geers RPJ, Bakx W, Smeets RJEM, et al. *Effects of task-oriented robot training on arm function, activity, and quality of life in chronic stroke patients: A randomized controlled trial. J Neuroeng Rehabil. 2014;*
5. Moliner-Muñoz B. *Cognición social en daño cerebral adquirido: relación con la conciencia de enfermedad y con la alteración de la conducta. CEU Cardenal Herrera. Escuela Internacional de Doctorado; 2020.*
6. Krakauer JW. *Arm function after stroke: From physiology to recovery. Seminars in Neurology. 2005.*
7. Wu CY, Huang PC, Chen YT, Lin KC, Yang HW. *Effects of mirror therapy on motor and sensory recovery in chronic stroke: A randomized controlled trial. Arch Phys Med Rehabil. 2013;*
8. Invernizzi M, Negrini S, Da SC, Lanzotti L, Cisari C, Baricich A. *The value of adding mirror therapy for upper limb motor recovery of subacute stroke patients: A randomized controlled trial. Eur J Phys Rehabil Med. 2013;*
9. Park Y, Chang M, Kim KM, An DH. *The effects of mirror therapy with tasks on upper extremity function and self-care in stroke patients. J Phys Ther Sci. 2015;*
10. Levin Pt MF, Weiss Ot PL, Keshner Pt EA. *Emergence of virtual reality as a tool for upper limb rehabilitation: Incorporation of motor control and motor learning Principles. Phys Ther. 2015;*
11. Hatem SM, Saussez G, della Faille M, Prist V, Zhang X, Dispa D, et al. *Rehabilitation of motor function after stroke: A multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery. Front Hum Neurosci. 2016;*
12. Lee MM, Cho HY, Song CH. *The mirror therapy program enhances upper-limb motor recovery and motor function in acute stroke patients. Am J Phys Med Rehabil. 2012;*
13. Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor control: Translating research into clinical practice: Fourth edition. Motor Control: Translating Research into Clinical Practice: Fourth Edition. 2014.*
14. Kitago T, Krakauer JW. *Motor learning principles for neurorehabilitation. In: Handbook of Clinical Neurology. 2013.*
15. Schmidt RA, Lee TD, Winstein CJ, Wulf G, Zelaznik H. *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2019.*
16. Cano de la Cuerda R, Collado Vázquez S, Lloves Ucha A. *Neurorehabilitación: métodos específicos de valoración y tratamiento. Neurorehabilitación: métodos específicos de valoración y tratamiento, 2012, ISBN 978-84-9835-410-2, págs. 283-294. 2012.*
17. Halsband U, Lange RK. *Motor learning in man: A review of functional and clinical studies. J Physiol Paris. 2006;*
18. Kleynen M, Beurskens A, Olijve H, Kamphuis J, Braun S. *Application of motor learning in neurorehabilitation: a framework for health-care professionals. Physiother Theory Pract. 2020;*

19. Maier M, Ballester BR, Verschure PFMJ. Principles of Neurorehabilitation After Stroke Based on Motor Learning and Brain Plasticity Mechanisms. *Frontiers in Systems Neuroscience*. 2019.
20. Langhorne P, Bernhardt J, Kwakkel G. Stroke rehabilitation. *The Lancet*. 2011.
21. Kwakkel G, Wagenaar RC, Koelman TW, Lankhorst GJ, Koetsier JC. Effects of intensity of rehabilitation after stroke: A research synthesis. *Stroke*. 1997;
22. Nelles G. Cortical reorganization—effects of intensive therapy. *Restor Neurol Neurosci*. 2004;
23. Bayona NA, Bitensky J, Salter K, Teasell R. The role of task-specific training in rehabilitation therapies. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2005.
24. Todorov E, Shadmehr R, Bizzi E. Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task. *J Mot Behav*. 1997;
25. Parker J, Mountain G, Hammerton J. A review of the evidence underpinning the use of visual and auditory feedback for computer technology in post-stroke upper-limb rehabilitation. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2011;
26. Brokaw EB, Murray T, Nef T, Lum PS. Retraining of interjoint arm coordination after stroke using robot-assisted time-independent functional training. *J Rehabil Res Dev*. 2011;
27. Rosati G, Oscari F, Spagnol S, Avanzini F, Masiero S. Effect of task-related continuous auditory feedback during learning of tracking motion exercises. *J Neuroeng Rehabil*. 2012;
28. Kaelin-Lang A. Enhancing rehabilitation of motor deficits with peripheral nerve stimulation. *NeuroRehabilitation*. 2008.
29. Woodbury ML, Anderson K, Finetto C, Fortune A, Dellenbach B, Grattan E, et al. Matching Task Difficulty to Patient Ability During Task Practice Improves Upper Extremity Motor Skill After Stroke: A Proof-of-Concept Study. In: *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2016.
30. Mullick AA, Subramanian SK, Levin MF. Emerging evidence of the association between cognitive deficits and arm motor recovery after stroke: A meta-analysis. *Restor Neurol Neurosci*. 2015;
31. Milot MH, Spencer SJ, Chan V, Allington JP, Klein J, Chou C, et al. Corticospinal excitability as a predictor of functional gains at the affected upper limb following robotic training in chronic stroke survivors. *Neurorehabil Neural Repair*. 2014;
32. Stinear CM, Barber PA, Smale PR, Coxon JP, Fleming MK, Byblow WD. Functional potential in chronic stroke patients depends on corticospinal tract integrity. *Brain*. 2007;
33. Dehem S, Gilliaux M, Stoquart G, Detrembleur C, Jacquemin G, Palumbo S, et al. Effectiveness of upper-limb robotic-assisted therapy in the early rehabilitation phase after stroke: A single-blind, randomised, controlled trial. *Ann Phys Rehabil Med*. 2019;
34. Mehrholz J, Pohl M, Platz T, Kugler J, Elsner B. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2018.
35. Pignolo L. Robotics in neuro-rehabilitation. In: *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2009.
36. Reinkensmeyer DJ, Emken JL, Cramer SC. Robotics, motor learning, and neurologic recovery. *Annual Review of Biomedical Engineering*. 2004.
37. Casadio M, Giannoni P, Masia L, Morasso P, Sandini G, Sanguineti V, et al. Robot therapy of the upper limb in stroke patients: Preliminary experiences for the principle-based use of this technology. *Funct Neurol*. 2009.
38. Babaiasl M, Mahdioun SH, Jaryani P, Yazdani M. A review of technological and clinical aspects of robot-aided rehabilitation of upper-extremity after stroke. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2016;
39. Michaelsen SM, Dannenbaum R, Levin MF. Task-specific training with trunk restraint on arm recovery in stroke: Randomized control trial. *Stroke*. 2006;
40. Dromerick AW, Lum PS, Hidler J. Activity-Based Therapies. *NeuroRx*. 2006;
41. Lotze M, Braun C, Birbaumer N, Anders S, Cohen LG. Motor learning elicited by voluntary drive. *Brain*. 2003;
42. Takahashi CD, Der-Yeghiaian L, Le V, Motiwala RR, Cramer SC. Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain*. 2008;
43. Basteris A, Nijenhuis SM, Stienen AHA, Buurke JH, Prange GB, Amirabdollahian F. Training modalities in robot-mediated upper limb rehabilitation in stroke: A framework for classification based on a systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2014.
44. Huang VS, Krakauer JW. Robotic neurorehabilitation: A computational motor learning perspective. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2009.
45. Kahn LE, Lum PS, Rymer WZ, Reinkensmeyer DJ. Robot-assisted movement training for the stroke-impaired arm: Does it matter what the robot does? *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2006.
46. Stein J, Krebs HI, Frontera WR, Fasoli SE, Hughes R, Hogan N. Comparison of two techniques of robot-aided upper limb exercise training after stroke. *Am J Phys Med Rehabil*. 2004;
47. Colomer C, Baldoví A, Torromé S, Navarro MD, Moliner B, Ferri J, et al. Efficacy of Armeo® Spring during the chronic phase of stroke. Study in mild to moderate cases of hemiparesis. *Neurol (English Ed)*. 2013;
48. Ellis MD, Sukal T, DeMott T, Dewald JPA. Augmenting clinical evaluation of hemiparetic arm movement with a laboratory-based quantitative measurement of kinematics as a function of limb loading. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008;
49. Krabben T, Prange GB, Molier BI, Stienen AH, Jannink MJ, Buurke JH, et al. Influence of gravity compensation training on synergistic movement patterns of the upper extremity after stroke, a pilot study. *J Neuroeng Rehabil*. 2012;
50. Yáñez Sánchez A, Cuesta Gómez A. Efectividad del dispositivo Armeo® en la rehabilitación del miembro superior en pacientes que han sufrido un ictus. Revisión de la bibliografía. *Rev Neurol*. 2020;
51. Ferreira FMRM, Chaves MEA, Oliveira VC, Petten AMVN Van, Vimieiro CBS. Effectiveness of robot therapy on body function and structure in people with limited upper limb function: A systematic review and meta-analysis.

## **MESA 2 • SESSION 2**

Moderador:

**Óscar Rubio García**

# El análisis del movimiento como herramienta clínica y diagnóstica: identificación de biomarcadores basados en la alteración de la marcha

**Juan Andrés Martín Gonzalo**

Fisioterapeuta. Doctor en Neurociencia por la Facultad de Medicina de la UAM.

Profesor y Coordinador de Investigación de la EUF ONCE.

Miembro del grupo AIM UAM TRADESMA IdiPaz.

El análisis instrumental de la marcha (AIM) es el conjunto de herramientas empleadas para la evaluación funcional del movimiento de caminar y la caracterización de la fisiopatología de diferentes trastornos motores<sup>(1)</sup>. Se trata de un área de investigación con más de 50 años de evolución, que se encuentra bien establecida en un amplio abanico de aplicaciones dentro del campo biosanitario<sup>(2)</sup>. Entre dichas utilidades se encuentra una inabarcable selección, como por ejemplo: la evaluación de dispositivos ortoprotésicos<sup>(3)</sup>, los procedimientos quirúrgicos y de rehabilitación<sup>(4)</sup>, el diagnóstico del deterioro de la capacidad de marcha en enfermedades neurodegenerativas<sup>(5,6)</sup> o la evaluación del riesgo y la prevención de caídas en personas mayores<sup>(7)</sup>. La tabla 1 reúne algunas de las características clínicas evaluadas por AIM de interés en diferentes escenarios. El mayor desarrollo técnico y experimental del AIM se debe a la traslación sencilla de los conocimientos a la práctica clínica y a condiciones de reproducibilidad de los patrones durante los diferentes ciclos de marcha (repetición semejante de los movimientos realizados durante dos taloneos consecutivos del mismo pie). En la figura 1, se puede observar la distribución estandarizada de un ciclo de marcha normal con sus diferentes fases.

Sin embargo, no existe en la actualidad una dirección única dentro del propio procedimiento empleado para la evaluación de la marcha, si no un amplio espectro de diseños técnicos y protocolos de ensayo para el mismo fin, donde la validez y la confiabilidad del propio análisis dependerá de los instrumentos empleados<sup>(8)</sup>. Esta circunstancia ha complicado la sinergia y la concentración de los esfuerzos, tanto en la investigación como en las aportaciones clínicas. Hoy en día, la principal fuente de información en consulta es provista por la observación y la aproximación cualitativa del análisis de vídeo o recogida de quejas referidas por los propios pacientes, sus familiares o cuidadores. Aunque los trastornos de marcha más severos pueden ser observados por el ojo humano experimentado, la ausencia de herramientas de medición provoca una pérdida de la información de cambios más sutiles, es susceptible de una mayor variabilidad intra e inter observador, puede afectar a la gradación del estado de la patología, la evaluación de su severidad y la planificación de la intervención<sup>(9,10)</sup>. En algunos casos, puede encontrarse el registro protocolizado de algunas variables

VARIABLE CUANTIFICABLE	CONDICIÓN / PATOLOGIA DE INTERÉS
Velocidad de marcha	Envejecimiento, trastorno cognitivo
Longitud del paso	Marcha Parkinsoniana, paso acortado, marche à petits pas (marcha en paso corto)
Frecuencia del paso (cadencia)	Eficiencia de marcha, enlentecimiento de marcha
Variabilidad entre ciclos	Ritmo anormal de marcha
Anchura del paso	Marcha cerebelosa (ataxia), ampliación/reducción de la base de sustentación.
Altitud del paso	Neuropatía periférica, pie caído, sobreelevación del pie.
Amplitud de las señales horizontales (plano transversal)	Marcha hemipléjica, diplejia, circunducción, marcha en tijera.
Ángulo de rodilla	Marcha agachada, pie caído, pie equino, rigidez articular.
Ángulo de tobillo	Marcha en equino, marcha agazapada.
Ángulo de cadera	Miopatía, marcha en ánade, oscilación excesiva, trendelembourg
Amplitud del taloneo, Ground Reaction Force.	Marcha con déficit sensorial, sobreimpacto en el contacto inicial.
Distribución de la amplitud de la señal motora	Tremor
Fase de apoyo	Marcha antálgica o duitativa.
Fase de oscilación	Dificultad en el despegue o en el balanceo en cadena abierta.
Tiempo de apoyo bipedal	Marcha inestable o marcha cautelosa
Comparación bilateral de sensores	Asimetría de marcha
Medida de la estabilidad de marcha	Marcha inestable.
Complejidad de marcha	Marcha distónica, hipercinética, o espasmódica.
Momentos de la fuerza	Debilidad en el despegue, momento valguizante en artrosis de rodilla.
Actividad muscular EMG	Debilidad muscular, desfase en la contracción normal.

**Tabla 1:** Diferentes variables mensurables con Análisis Instrumental de Marcha y su aplicación a diferentes condiciones o situaciones clínicas.

VARIABLES ESPACIOTemporALES	UNIDAD
Velocidad de marcha	(m/s)
Longitud de la zancada	(m)
Tiempo de zancada	(s)
Zancadas por minuto	(zancada/min)
Longitud del paso	(m)
Tiempo de paso	(s)
Cadencia	(pasos/s)
Tiempo de apoyo (s)	(s; %)
Tiempo en oscilación (s)	(s; %)
1er tiempo de apoyo bipodal	(s; %)
Tiempo en apoyo monopodal	(s; %)
2º tiempo de apoyo bipodal	(s; %)

Tabla 2: Variables espaciotemporales extraídas de la marcha.

que proveen una ingente cantidad de datos en tiempo real. Como ejemplo ilustrativo, durante una caminata en un pasillo de entre siete y diez metros, un sistema de cámaras con una capacidad de registro de 200 Hz puede obtener entre 15.000 y 18.000 mediciones articulares sólo de

VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS
Altura. (m).
Peso. (Kg).
Anchura de la pelvis (mm): entre EIAS
Profundidad pélvica (mm): entre la EIAS -EIPS
Longitud muslo (mm): trocánter mayor a línea articular de la rodilla.
Longitud pierna (mm): línea articular de la rodilla hasta el ápex de maleolo peroneo.
Longitud del pie (mm): tuberosidad posterior del calcáneo a cabeza del 5º metatarsiano.
Distancia intercondilar. (mm): epicóndilo femoral medial y lateral.
Distancia intermaleolar. (mm): ápex del maelolo peroneo y tibial.

Tabla 3: conjunto de medidas antropométricas utilizadas para la definición de los centros articulares.

cuantitativas derivadas de valores espaciales y temporales como la cadencia o la velocidad de marcha<sup>(11)</sup>, si bien estas medidas son criticadas con frecuencia por ser excesivamente simplificadoras de un proceso tan complejo como es la marcha humana. Algunas de las variables más interesantes puede encontrarse en la figura 2 y la tabla 2.

En centros especializados, como el Laboratorio de Análisis del Movimiento de la Escuela de Fisioterapia de la ONCE, Universidad Autónoma de Madrid, se han adoptado herramientas de alta precisión que permiten la medición de una gran variedad de variables del movimiento (espaciotemporales, articulares, de fuerzas, electromiográficas, etc.)

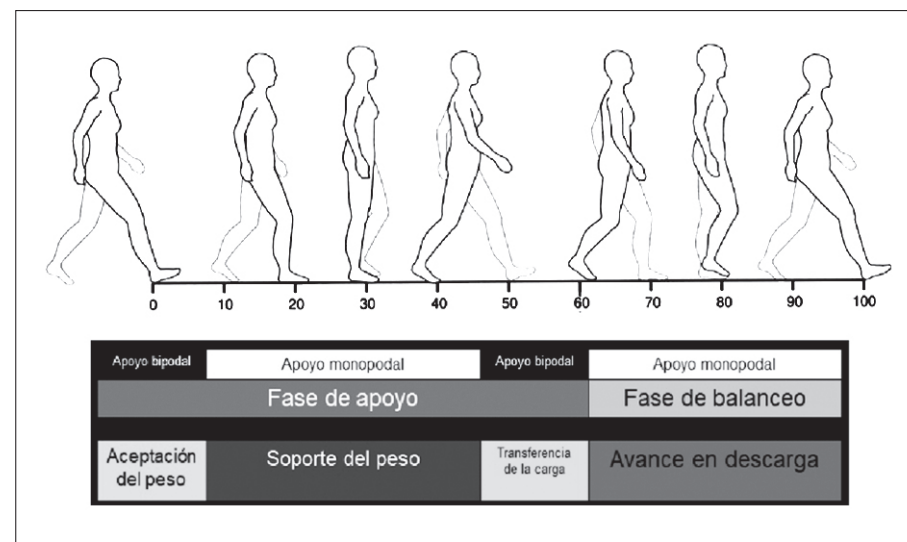


Figura 1. Fases del ciclo de la marcha humana normal definidas en %, junto a su objetivo funcional.

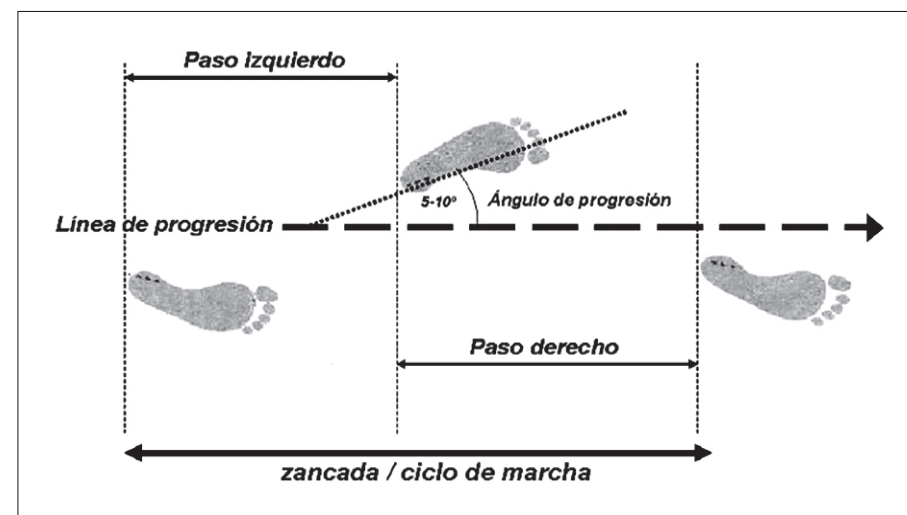
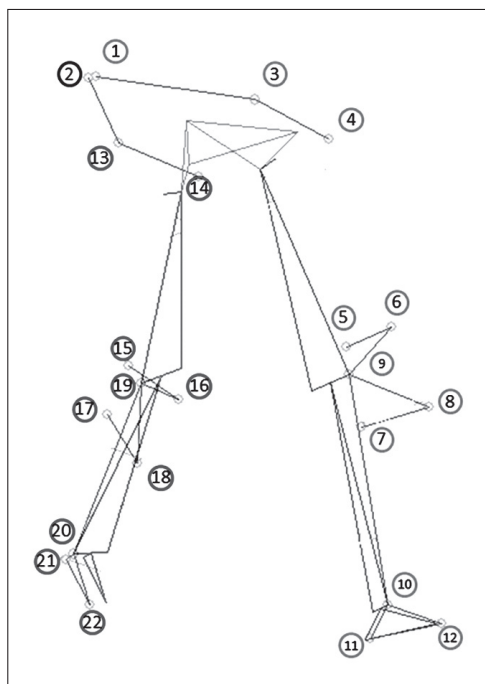


Figura 2. Diagrama que muestra la definición de diferentes variables espaciotemporales de interés en el análisis espaciotemporal de la marcha.

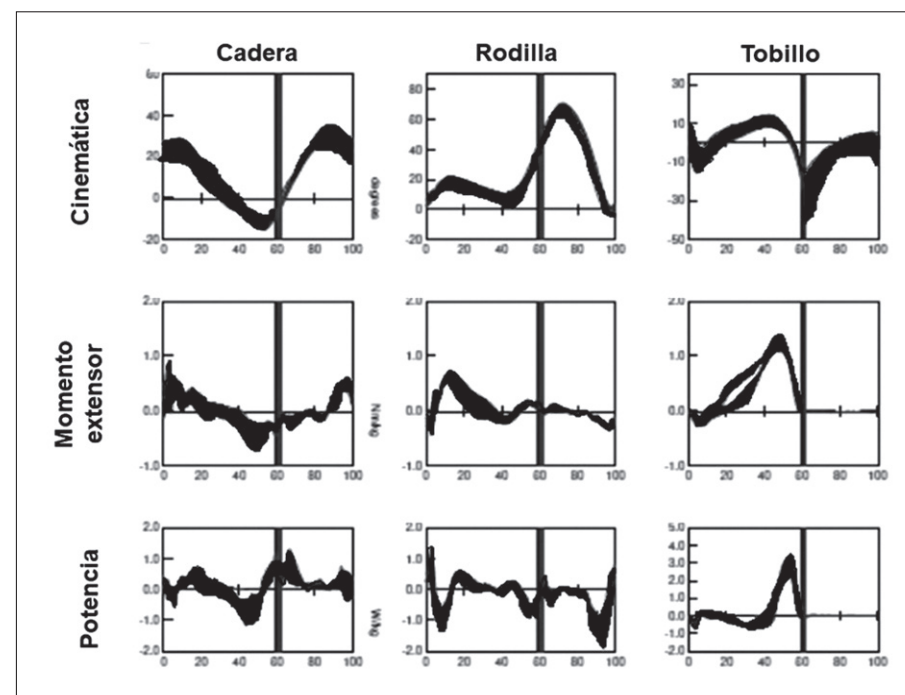


**Figura 3.** Posición de referencia de los emisores de infrarrojo para la modelización del movimiento de marcha.

ambas extremidades inferiores. La figura 3 y la tabla 3 muestran la colocación de los marcadores situados en las extremidades inferiores y las mediciones goniométricas para la modelización del movimiento con el sistema CODAmotion® (Cartesian Optoelectronic Dynamic Anthropometer). En un laboratorio especializado en evaluación de marcha suelen existir tres fuentes principales de datos que nos permiten caracterizar el patrón de marcha. Por un lado, el análisis cinemático se basa en cámaras optoelectrónicas y emisores de luz infrarroja situados en referencias anatómicas concretas, que permiten triangular y modelizar el movimiento de los segmentos corporales. Del análisis cinemático se extrae el movimiento articular (intersegmentos: pelvis, muslo, pierna y pie) y las mencionadas variables espaciotemporales del paso. Una segunda fuente proviene de las plataformas dinamométricas, o de fuerzas, empleadas en el análisis del vector de reacción de la fuerza durante la marcha (GRF de la nomenclatura inglesa Ground Reaction Force). Junto a la información cinemática aportada por las cámaras, el GRF provee los datos de los momentos de la fuerza y las potencias calculadas sobre la articulación en cada instante mediante el análisis de la dinámica inversa<sup>(12,13)</sup>. Toda la información numérica puede representarse mediante gráficas, donde en el eje x se expone el porcentaje del ciclo de marcha en el que ocurre el valor dado; y en el eje y la variable articular cinemática o de fuerzas correspondiente. Este conjunto de gráficas permite representar cada variable para cada articulación y cada plano de movimiento de forma simultánea, permitiendo su yuxtaposición. También permite solapar el movimiento de ambas extremidades para observar asimetrías de forma rápida. (Puede verse un ejemplo de representación e interpretación en las figuras 4 a y b). Otra fuente habitual es la provista por la electromiografía de superficie (EMG), este sistema, mucho más conocido, captura la actividad eléctrica superficial generada por la musculatura y puede evaluar los patrones de contracción/actividad de la musculatura. Junto al cinesiógrama y la dinámica aportada por la plataforma de fuerzas, puede precisar la secuencia de contracción de la

musculatura durante el ciclo de marcha. Por tanto, el informe de marcha emitido por un laboratorio de marcha permite dirimir, en manos de un experto, el conjunto de cambios más importantes en la marcha del paciente evaluado, distinguiendo los factores etiológicos más relevantes y extrayendo un diagnóstico funcional.

Pese a las virtudes expuestas, el procedimiento empleado en laboratorios especializados se encuentra con algunas limitaciones debidas a la falta de eficiencia derivada del relativo alto coste de las tecnologías empleadas, que además requieren ser operadas por expertos<sup>(8,14)</sup>. Otra desventaja es que se encuentran restringidos al entorno laboratorio, lo que compromete su validez ecológica, es decir, que podría no reflejar la realidad del fenómeno estudiado en el entorno real fuera del laboratorio<sup>(15)</sup>. Además, pese a que los marcadores de infrarrojo y los sensores de la EMG de superficie tienen un tamaño y un peso muy reducidos, la instrumentación de pacientes con alteraciones graves de movilidad o poco participativos puede ser un factor de cambio en su patrón de movimiento,

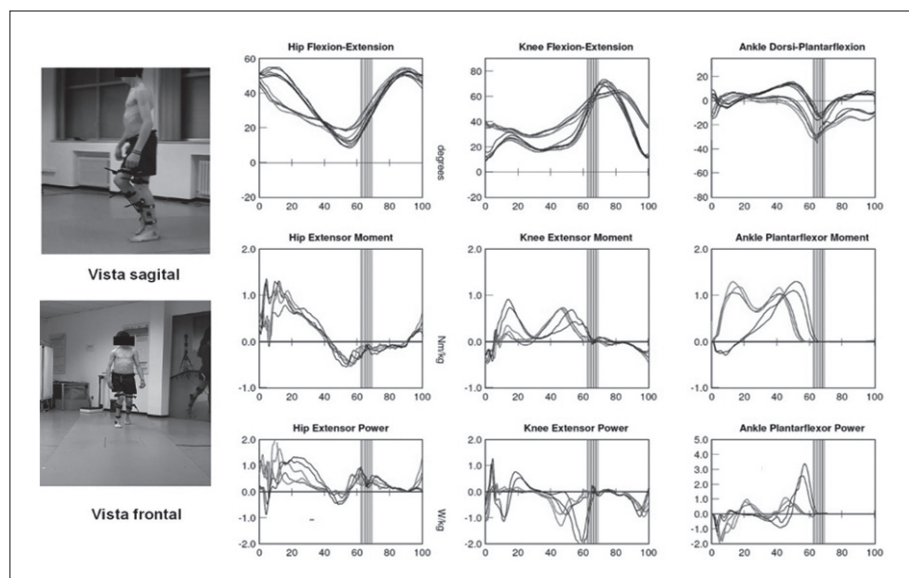


**Figura 4a.** Panel que muestra de forma gráfica la banda de valores de referencia de patrones de marcha normal. Todas las gráficas pertenecen al plano sagital. En columnas se muestran las curvas de movimiento cinemático (fila superior), momentos internos extensor de la fuerza (fila intermedia), y potencias articulares (fila inferior).

incurrir en pérdida de la detección de los propios emisores, artefactar la pisada en la plataforma de fuerzas y, en definitiva, invalidar los datos obtenidos<sup>(16)</sup>. Los factores expuestos pueden haber impedido su propagación en la clínica diaria, evitando que el AIM desarrolle todo su potencial, aunque estos instrumentos han impulsado de forma innegable la investigación sobre el análisis de la marcha y del movimiento. De hecho, la evaluación del movimiento en centros especializados sigue considerándose hasta la fecha como el mejor procedimiento para la definición precisa de los trastornos de la marcha, por encima de mediciones no instrumentadas a tiempo real<sup>(17)</sup>: el registro en vídeo<sup>(18)</sup> o a la sensorica portable fuera del laboratorio<sup>(19)</sup>.

### La marcha como biomarcador

Como se ha mencionado anteriormente, el AIM ofrece miles de resultados del movimiento de marcha en conjuntos de datos organizados en series temporales definidas como ciclos de marcha. Aunque pueden ser estudiados observacionalmente para una evaluación subjetiva, esta será



**Figura 4b.** *Figura 4b. Curvas cinemáticas y cinéticas de un paciente varón de 20 años de edad con marcha hemipléjica. El color rojo representa el movimiento de la extremidad derecha y el azul el de la extremidad izquierda. Ambas se yuxtaponen para detectar las asimetrías de forma sencilla. En el caso de la extremidad derecha puede observarse, en comparación con 4a, la reducción del rango de movimiento de cadera y rodilla, el contacto inicial en flexión plantar y la alteración de la capacidad extensora de rodilla en la respuesta a la carga, la actividad extensora durante todo el apoyo monopodal y la ineficiencia ante el impulso previo al despegue.*

dependiente de la experiencia en el manejo de las gráficas. En la actualidad, uno de los retos más importantes en AIM y de mayor impulso en la investigación a nivel internacional es el tratamiento cuantitativo de los datos mediante el uso de diferentes algoritmos ofrecidos por el campo de la ciencia computacional, como la inteligencia artificial, o el data mining, que pueden abordar de forma holística y no lineal ofreciendo patrones de todos los datos de marcha de un paciente o grupos de pacientes<sup>(20,21)</sup>.

Una serie temporal puede ser definida como un conjunto de mediciones tomadas a un intervalo de tiempo específico, en nuestro caso, el comportamiento cinemático, dinámico, etc., durante el tiempo transcurrido en una secuencia completa de movimientos entre dos talones consecutivos del mismo pie<sup>(22)</sup>. Sin embargo, la perspectiva innovadora radica en que lo importante no es la medida del cambio en el tiempo en términos absolutos, si no el comportamiento emergente del sistema para que pueda ser descrito a lo largo de la serie usando herramientas y procedimientos matemáticos no lineales que cuantifiquen su grado de orden, previsibilidad, regularidad y complejidad. Estas señales biológicas pueden ser estudiadas por tanto como biomarcadores, que muestran un interés emergente para caracterizar las alteraciones patológicas de movimiento de forma no invasiva<sup>(23)</sup>.

Un biomarcador puede ser definido como un indicador medible que puede ayudar a evaluar y caracterizar la progresión de una patología en un paciente, o el riesgo de padecerla en el futuro en un sujeto sano. Si consideramos que caminar es una actividad común de la vida cotidiana que requiere de la integridad de una gran cantidad de sistemas (nervioso, musculoesquelético y cardiorrespiratorio) para permitir su coordinación y una funcionalidad adecuada<sup>(24)</sup> 2018, es lógico pensar que se haya planteado que los cambios de la marcha podrían ser marcadores útiles de la carga y pronóstico de enfermedades como resultado directo de factores de riesgo cardiovasculares, neurológicos o de otros problemas de salud. De hecho, el enlentecimiento de la velocidad de marcha habitual representa una característica importante de la reducción de la capacidad física como resultado del proceso de envejecimiento, con una reducción aproximada de un 16% por década en individuos mayores de 60 años, y supone un peor indicador de la función física y cognitiva en edades medias de la vida<sup>(25,26)</sup>. Esto ha generado que la disminución de la velocidad de marcha se haya implementado en la evaluación del estado funcional de personas mayores para predecir consecuencias adversas de salud<sup>(27)</sup>.

Sin embargo, la velocidad de caminata de forma aislada, puede ser insuficiente para la identificación de patrones específicos ante diferentes procesos patológicos subyacentes a los cambios de marcha. Los resultados de un reciente trabajo publicado por nuestro grupo de investigación señalan que la complejidad de las señales biológicas extraídas de las series temporales cinemáticas articulares de marcha de adultos mayores mediante AIM muestran cambios, incluso en fases tempranas, del deterioro cognitivo, siendo sensibles a distintos grados de alteración cognitiva, especialmente influenciados por la velocidad de marcha exhibida por

los participantes<sup>(28)</sup>, lo cual pudo reflejar un medidor indirecto de cambios cerebrales, como el volumen de sustancia gris de áreas implicadas en el control motor, que se han demostrado influidas por el perfil de deterioro neurocognitivo en estudios posteriores<sup>(29)</sup>. Experimentos más sencillos en instrumentación también aportan datos interesantes sobre la funcionalidad de estas medidas de complejidad cinemática, mostrando que la velocidad prefijada de marcha en un rango del 80% al 120% de la velocidad preferida al caminar (espontánea), impone un patrón de movimiento más regular y conlleva la descoordinación de la extremidad inferior en sujetos adultos con historial de caídas<sup>(30)</sup>.

Como conclusión, la investigación de señales biológicas relacionadas con la marcha, aunque limitada hoy en día, plantea un abordaje muy interesante para descubrir metaindicadores de la detección temprana y la monitorización de patología, especialmente neurodegenerativa, donde el conjunto de diferentes medidas de complejidad de análisis de series temporales al caminar podrían tener un ámbito de aplicación significativamente más amplio, desde el diagnóstico y la detección precoz del cambio fisiológico, hasta aplicaciones biométricas<sup>(31)</sup>.

### Referencias bibliográficas

1. Sutherland DH. The evolution of clinical gait analysis. Part II kinematics. *Gait Posture* 2002 October 01;16(2):159-179.
2. Whittle M. *Gait analysis: an introduction*. 4th ed. Edinburgh NY: Butterworth-Heinemann; 2007.
3. Gholizadeh H, Lemaire ED, Sinitski EH, Nielsen D, Lebel P. Transtibial amputee gait with the unity suspension system. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2020 April 01;15(3):350-356.
4. Khouri N, Desailly E. Contribution of clinical gait analysis to single-event multi-level surgery in children with cerebral palsy. *Orthop Traumatol Surg Res* 2017 February 01;103(1S):S105-S111.
5. Pistacchi M, Gioulis M, Sanson F, De Giovannini E, Filippi G, Rossetto F, et al. Gait analysis and clinical correlations in early Parkinson's disease. *Funct Neurol* 2017 March 01;32(1):28-34.
6. Liparoti M, Della Corte M, Rucco R, Sorrentino P, Sparaco M, Capuano R, et al. Gait abnormalities in minimally disabled people with Multiple Sclerosis: A 3D-motion analysis study. *Mult Scler Relat Disord* 2019 April 01;29:100-107.
7. Caicedo PE, Rengifo CF, Rodriguez LE, Sierra WA, Gomez MC. Dataset for gait analysis and assessment of fall risk for older adults. *Data Brief* 2020 November 21;33:106550.
8. Simon SR. Quantification of human motion: gait analysis-benefits and limitations to its application to clinical problems. *J Biomech* 2004 December 01;37(12):1869-1880.
9. Ferrarello F, Bianchi VA, Baccini M, Rubbieri G, Mossello E, Cavallini MC, et al. Tools for observational gait analysis in patients with stroke: a systematic review. *Phys Ther* 2013 December 01;93(12):1673-1685.
10. Molenaers G, Fagard K, Van Campenhout A, Desloovere K. Botulinum toxin A treatment of the lower extremities in children with cerebral palsy. *J Child Orthop* 2013 November 01;7(5):383-387.
11. Barker S, Craik R, Freedman W, Herrmann N, Hillstrom H. Accuracy, reliability, and validity of a spatiotemporal gait analysis system. *Med Eng Phys* 2006 June 01;28(5):460-467.

12. Lockhart T, Kim S, Kapur R, Jarrott S. Evaluation of gait characteristics and ground reaction forces in cognitively declined older adults with an emphasis on slip-induced falls. *Assist Technol* 2009 January 01;21(4):188-195.

13. Sutherland DH. The evolution of clinical gait analysis part III—kinetics and energy assessment. *Gait Posture* 2005 June 01;21(4):447-461.

14. Wren TA, Gorton GE, Ounpuu S, Tucker CA. Efficacy of clinical gait analysis: A systematic review. *Gait Posture* 2011 June 01;34(2):149-153.

15. Ali A, Sundaraj K, Ahmad B, Ahamed N, Islam A. Gait disorder rehabilitation using vision and non-vision based sensors: a systematic review. *Bosn J Basic Med Sci* 2012 August 01;12(3):193-202.

16. Hallemans A, Van de Walle P, Wyers L, Verheyen K, Schoonjans AS, Desloovere K, et al. Clinical usefulness and challenges of instrumented motion analysis in patients with intellectual disabilities. *Gait Posture* 2019 June 01;71:105-115.

17. Harradine P, Gates L, Bowen C. Real time non-instrumented clinical gait analysis as part of a clinical musculoskeletal assessment in the treatment of lower limb symptoms in adults: A systematic review. *Gait Posture Invalid date Invalid date*;62:135-139.

18. Rathinam C, Bateman A, Peirson J, Skinner J. Observational gait assessment tools in paediatrics – A systematic review. *Gait & Posture Invalid date Invalid date*;40(2):279-285.

19. Benson LC, Clermont CA, Bošnjak E, Ferber R. The use of wearable devices for walking and running gait analysis outside of the lab: A systematic review. *Gait Posture Invalid date Invalid date*;63:124-138.

20. Gomez-Andres D, Pulido-Valdeolivas I, Martin-Gonzalo JA, Lopez-Lopez J, Martinez-Caballero I, Gomez-Barrena E, et al. External evaluation of gait and functional changes after a single-session multiple myofibrotomy in school-aged children with spastic diplegia. *Rev Neurol* 2014 March 16;58(6):247-254.

21. Pulido-Valdeolivas I, Gomez-Andres D, Martin-Gonzalo JA, Rodriguez-Andonaegui I, Lopez-Lopez J, Pascual-Pascual SI, et al. Gait phenotypes in paediatric hereditary spastic paraplegia revealed by dynamic time warping analysis and random forests. *PLoS One* 2018 March 08;13(3):e0192345.

22. Perry J. *Gait analysis: normal and pathological function*. 2nd ed. Thorafare EEUU: SLACK; 2010.

23. Zanin M, Gómez-Andrés D, Pulido-Valdeolivas I, Martín-Gonzalo JA, López-López J, Pascual-Pascual SI, et al. Characterising normal and pathological gait through permutation entropy. *Entropy* 2018;20(1):77.

24. Borges SM, Radanovic M, Forlenza OV. Correlation between functional mobility and cognitive performance in older adults with cognitive impairment. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn* 2018 January 01;25(1):23-32.

25. Beijersbergen CM, Granacher U, Vandervoort AA, DeVita P, Hortobagyi T. The biomechanical mechanism of how strength and power training improves walking speed in old adults remains unknown. *Ageing Res Rev* 2013 March 01;12(2):618-627.

26. Rasmussen LJH, Caspi A, Ambler A, Brodbent JM, Cohen HJ, d'Arbeloff T, et al. Association of Neurocognitive and Physical Function With Gait Speed in Midlife. *JAMA Netw Open* 2019 October 02;2(10):e1913123.

27. Hsu B, Merom D, Blyth FM, Naganathan V, Hirani V, Le Couteur DG, et al. Total Physical Activity, Exercise Intensity, and Walking Speed as Predictors of All-Cause and Cause-Specific Mortality Over 7 Years in Older Men: The Concord Health and Aging in Men Project. *J Am Med Dir Assoc* 2018 March 01;19(3):216-222.

28. Martin-Gonzalo JA, Pulido-Valdeolivas I, Wang Y, Wang T, Chiclana-Actis G, Algarrá-Lucas C, et al. Permutation Entropy and Irreversibility in Gait Kinematic Time Series from Patients with Mild Cognitive Decline and Early Alzheimer's Dementia. *Entropy* 2019;21(9):868.

29. Allali G, Montembeault M, Saj A, Wong CH, Cooper-Brown LA, Bherer L, et al. Structural Brain Volume Covariance Associated with Gait Speed in Patients with Amnesic and Non-Amnesic Mild Cognitive Impairment: A Double Dissociation. *J Alzheimers Dis* 2019 May 20.

30. Craig JJ, Bruetsch AP, Huisinga JM. Coordination of trunk and foot acceleration during gait is affected by walking velocity and fall history in elderly adults. *Aging Clin Exp Res* 2018 September 07.

31. Gavrishchaka V, Senyukova O, Davis K. Multi-complexity ensemble measures for gait time series analysis: application to diagnostics, monitoring and biometrics. *Ad Exp Med Biol* 2015;823:107-126.

## Biomechanical technologies for human functions assessment

---

David Garrido Jaén

PhD in Mechanical Engineering.

Innovation Manager. Instituto de Biomecánica de Valencia IBV.

---

### A Brief look behind into the biomechanics and the dynamic study of human activities

The study of human structures in movement and how they interact dynamically with the environment has a paramount importance in fields like medicine, sports, ergonomics or even the design of products and services used by people. The discipline that gather all this knowledge is the biomechanics and it has generated great interest among the research community from the earliest stages of 16<sup>th</sup> century, as it was proved by some relevant analysis conducted by Leonardo da Vinci (1452-1518) about the movements of the body, muscle, heart and blood.

The evolution of biomechanics is so linked to its main fields of application that it is impossible to relate its history without referring to each of these fields. In fact, the development of biomechanics in the second half of the 20<sup>th</sup> century is due to its progressive implementation in three areas:

**Medicine**, by analysing the pathologies that affect the human body in order to generate solutions that can assess, treat or alleviate them.

**Sports**, by studying sports practice to improve performance, developing training techniques and designing high-performance sports supplements.

**Work**, by analysing the mechanical relationship of the human body with the elements with which it interacts in different occupational, educational, domestic or leisure environments in order to adapt them to its needs.

Focusing our attention in the medical field, the first steps of the modern biomechanics are associated to the field of orthopedics, fracture repair and the study of human gait.

With regard to the study of movement, although the first work on the mechanical analysis of gait was performed by the Weber brothers in 1836, the scientific study of gait started in 1872. Inspired by an old dispute over whether there was a moment in which a horse did not support any of its legs on the ground while galloping, Muybridge adapted a series of cameras electrically shot in order to get rapid sequences of still images in a California racetrack.

On the basis of this study, Jules Marey (1830-1904) used the first **systems of objectification of human gait, recording the support reactions and the duration of the contact of the foot with the ground by means of pneumatic methods**. In 1894 he described a **dynamometric platform**. From this moment on, multiple kinematic, kinetic and electromyographic studies on normal and pathological human gait were performed. The research of Carlet in Marey's

laboratory achieved further advance. This author measured step length and step duration, the **swing phase** and the **stance phase**, and the **lateral tilt** of the body during gait.

The next step was to determine the role of muscles during the gait. Scherb carried out an important work, which established the pattern of muscle activity in the lower limbs by just palpating the muscles of subjects who were walking on a treadmill. Subsequently, his findings were confirmed and refined with the introduction of **electromyography**.

After the World War II, **laboratories for the analysis of human movements and biomechanical laboratories** emerged primarily in the United States, bringing a significant boost to this field. Eberhart and Inman (1944), University of California, stand out for their contribution to the field of electromyographic research. In 1945, Scherb and Arienti, used electrical contacts placed on the sole of the shoes of the individuals under study, which were located in the heel and the first and fifth metatarsals.

In recent decades many works have appeared as a result of the multidisciplinary collaboration that takes place in gait laboratories.

Since biomechanical assessment equipment was marketed and implemented in different environments, its applications have significantly increased, being an accessible and interesting working tool in different areas and with different applications, such as functional assessment of pathologies,



Figure 1. Still image of Muybridge.

improvement of sports performance, ergonomic assessment of the workstation or generation of product design criteria.

### Biomechanical assessment of human daily life activities as a current complementary clinical test

Biomechanical assessment techniques are currently used to evaluate human functions and activities and they are a **complementary medical tests** that has proved useful in various fields such as physical medicine and rehabilitation, occupational medicine or bodily harm assessment. Compared with clinical scales, an instrument also used to assess human functions and activities, instrumental techniques have a number of advantages: no ceiling effect, high measurement accuracy and sensitivity at the highest functional levels, especially when the usual means for clinical examination are unable to appreciate differences.

They are commonly used to assess functional disorders due to diseases of the musculoskeletal system and its **main applications include** among others:

Progress control during recovery.

Assessment of the consequences of injury, musculoskeletal disorders, etc.

Evaluation of fall risk in older adults.

Assessment of the working capacity of workers in order to discharge them or for permanent disability proposals.

Assessment of people musculoskeletal load in relation to performing specific work tasks.



Figure 2. Man's running (Jules Marey).

In order to assess many daily life situations, it is necessary to analyse human functions, the activities carried out by people or their interaction with the environment. Any assessment requires observing or measuring the phenomenon of interest. In general, the methods of analysis can be classified into two broad categories:

1. Direct observation methods: based on the use of sense organs. They are subjective measurements that do not require any equipment and provide qualitative information with limited sensitivity to change.

2. Instrumental techniques: They are objective measurements that require equipment and provide quantitative information with high sensitivity to change.

In order to decide which method is better to carry out an assessment, it is necessary to consider many aspects: the purpose of the assessment, the accuracy required by the measurement, if the importance of the result requires or not a method of objective assessment, the existing methods for measuring the phenomenon of interest, cost, accuracy and whether it is easy to use and to interpret the results.

It is essential to know the main instrumental techniques both to perform assessments of human functions and to correctly interpret the assessment carried out with these techniques. Biomechanical assessment techniques register different magnitudes, although the most widely used focus on the analysis of force or movement.

In that sense, the Institute of Biomechanics of Valencia (IBV) is a research and technological centre focused on the development of biomechanical applications specially aimed at helping health professionals in the management of the main musculoskeletal impairments, having developed a set of methodologies and technological solutions that are currently being used daily by a worldwide professional community of more than 5.000 members.

## References

- Bureau International des Poids et Mesures. (2012). *JCGM 200:2012. International Vocabulary of Metrology. Basic and General Concepts and Associated Terms.*
- Comín, Mario, Ricardo Dejoz, and Prat Pastor Prat. *Biomecánica articular y sustituciones protésicas.* Instituto de Biomecánica de Valencia, 1998.
- Dempster, W.T., 1955. *Space requirements of the seated operator: geometrical, kinematic, and mechanical aspects of the body, with special reference to the limbs.*
- Enderle JD, Bronzino JD. *Introduction to biomedical engineering.* Academic Pr; 2011.
- Hernández Cueto, C. (1996). *Valoración médica del daño corporal. Guía práctica para la exploración y evaluación del lesionado.* Barcelona. Edit Masson.
- Inman, V.T., Ralston, H.J., Todd, F., 1981. *Human walking.* Williams & Wilkins.
- Kane TR, Levinson DA. *Dynamics, theory and applications.* McGraw Hill; 1985
- Richards J. *Biomechanics in clinic and research: an interactive teaching and learning course.* Churchill Livingstone/Elsevier; 2008.

- Segovia, J.C, López-Silvarrey, FJ, Legido, J.C. *Manual de valoración funcional. Aspectos clínicos y fisiológicos.* Elsevier.

- Vera, P., 1985. *Introducción Biomecánica del aparato locomotor: I. Fundamentos.* Inst. Biomecánica de Valencia, Valencia.

- Winter DA. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement.* John Wiley and Sons; 2009.

- Wu G, Siegler S, Allard P, Kirtley C, Leardini A, Rosenbaum D, et al. *ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine.* *Journal of biomechanics.* 2002;35(4):543-8.

- Wu G, Van der Helm FCT, Veeger HEJ, Makhsous M, Van Roy P, Anglin C, et al. *ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion-Part II: shoulder, elbow, wrist and hand.* *Journal of biomechanics.* 2005;38(5):981-92.

# Últimos avances en ecografía musculoesquelética en fisioterapia

**Juan Antonio Valera Calero**

*PT, PhD. Departamento de Fisioterapia, Facultad de Salud. Universidad Camilo José Cela. Madrid.  
Director Titulo de Experto Universitario en Anatomía Ecográfica del Aparato Locomotor  
y Sistema Nervioso Periférico, Universidad Camilo José Cela. Madrid.*

## 1. Introducción

El uso de la ecografía tiene distintos objetivos para la medicina y la fisioterapia. En ramas del conocimiento relacionadas con la medicina, el objetivo principal de este método de valoración por imagen es el diagnóstico médico de una patología, siendo una competencia exclusiva de radiólogos y otras ramas médicas. En el último congreso internacional de ecografía en fisioterapia en 2016, se establecieron las competencias del fisioterapeuta en materia de ecografía musculoesquelética, incluyendo su uso para la valoración morfológica y funcional como herramienta de biofeedback en ejercicios de control motor o de suelo pélvico y como guía para tratamientos invasivos tales como la punción seca, la electrolisis percutánea o la neuromodulación percutánea<sup>(1)</sup>.

La valoración mediante ecografía es una práctica cada vez más frecuente (probablemente debido a su seguridad, rapidez, accesibilidad y portabilidad)<sup>(2)</sup>, para evaluar la morfología (grosor, área de sección transversal, descriptores de forma y volumen)<sup>(1)</sup>, la calidad (ecointensidad y porcentaje de infiltración grasa intramuscular)<sup>(3)</sup> y la actividad del sistema musculoesquelético<sup>(4)</sup>.

## 2. Modos de imagen ecográficos aplicados a la fisioterapia

### 2.1. Modo B

El modo de imagen ecográfico más extendido es el modo B, cuyo procesamiento da lugar a una imagen de dos dimensiones en escala de 256 grises. En este modo se produce una sección transversal del área recogida por la sonda, en función del tipo que sea. Cada pixel brillará de una manera determinada, en función de la reflexión, y se posicionará considerando el tiempo de retorno desde que la onda se emite hasta que se recibe. De este modo, pueden visualizarse varias estructuras simultáneamente y a tiempo real para evaluar, entre otras cosas, la morfología (grosor, forma, áreas de sección transversal...), relación posicional con otras estructuras en un examen estático (en reposo o contracción) o dinámico, guiar procedimientos invasivos o como herramienta de biofeedback<sup>(5)</sup>. Además, si se siguen protocolos de examen estrictos y detallados, es una herramienta que puede ser utilizada de manera fiable, independientemente de la experiencia del examinador, tanto para adquirir la imagen ecográfica, como para realizar las mediciones correspondientes de las mismas<sup>(6)</sup>.

Además, es potencialmente útil como herramienta, en la investigación para desarrollar modelos predictivos que ayuden a prevenir accidentes por invasión, derivados de la punción seca, en aquellos casos que no se disponga de ecografía de tejido vascular, visceral, nervioso o pleural, que se están desarrollando en estos últimos años<sup>(7)</sup>. En este estudio, se analizan los principales factores que se tienen en cuenta al realizar una punción seca cuando no se dispone de ecografía y se analizan para que, junto a las mediciones ecográficas de la distancia de la piel al nervio tibial en dos localizaciones distintas de la pierna, se desarrolle primero, una matriz de correlación entre la distancia de la piel al nervio, con variables antropométricas y sociodemográficas y, posteriormente, un modelo de regresión que calcula la precisión con la que podemos estimar la longitud de la aguja sin comprometer las estructuras que se sitúan profundas al sóleo.

### 2.2. Modo panorámico

La ecografía panorámica es un nuevo método que consiste en la reconstrucción automática de una imagen mediante obtención de imágenes consecutivas del modo B y que permite analizar dimensiones lineales (ancho, profundidad o perímetro), área de sección transversal y la ecointensidad media de tejidos que, por su tamaño, no pueden ser analizados con el modo B convencional.

Esto ha permitido hacer un análisis del área de sección transversal (cm<sup>2</sup>) de todos los músculos posteriores de la región cervical, así como del porcentaje individual (%) de cada músculo, respecto al área muscular total en hombres y mujeres sanos<sup>(8)</sup>. Además, las mediciones de este modo de imagen para esta misma región parecen ser altamente fiables con coeficientes de correlación intraclase (CCI) que fluctúan de 0,978 a 0,993, errores absolutos que varían entre 0,03 y 0,11 cm<sup>2</sup> y un porcentaje de error del 2,83 al 7,33%<sup>(9)</sup>.

Además, una revisión sistemática reciente<sup>(10)</sup> confirma la validez y fiabilidad de la ecografía panorámica para medir la morfología muscular y la calidad del tejido muscular mediante el análisis de la ecointensidad. Sin embargo, la mayoría de estudios incluidos en esta revisión han sido realizados en sujetos sanos y no se han considerado factores que podrían sesgar los estudios (tamaño de la muestra, el cegamiento de los evaluadores o la posición perpendicular de la sonda durante la obtención de la imagen).

### 2.3. Elastografía

La elastografía es una tecnología de diagnóstico por imagen sensible a la rigidez del tejido que ha evolucionado considerablemente en los últimos años, haciendo posible una evaluación cuantificable de la rigidez del tejido<sup>(11)</sup>. El primer método desarrollado fue la "elastografía de compresión" o "strain elastography" en 1991, y da información de la rigidez relativa entre dos áreas de un tejido bajo la hipótesis de que los tejidos rígidos se deforman menos que los tejidos blandos. De esta manera, a través de una compresión manual ligera y constante del transductor sobre la superficie

evaluada o mediante una fuerza interna pasiva que utiliza el movimiento interno fisiológico (cardiovascular o respiratorio) se podía realizar una valoración cualitativa de tejidos superficiales o profundos respectivamente<sup>(12)</sup>.

Sin embargo, esta tecnología está siendo sustituida por una metodología que mide el desplazamiento de los tejidos, utilizando ondas de ultrasonido perpendiculares a la dirección de la fuerza producida con el transductor de manera automática<sup>(13)</sup>. A pesar de ser un método más objetivo que la elastografía de compresión, hay que tener en cuenta que el mecanismo físico que soporta el método de imagen sigue siendo ondas de sonido, por lo que hay que tener en cuenta sus limitaciones características (sombra acústica, reverberación, artefactos de imagen o la propia experiencia del examinador)<sup>(14)</sup>. Por esta razón, muchos de los datos que pueden obtenerse mediante elastografía han demostrado una reproducibilidad baja<sup>(15)</sup>.

Teniendo en cuenta estas limitaciones e interpretando cautelosamente las conclusiones de estudios previos, la elastografía es potencialmente aplicable al estudio del aparato musculoesquelético. Un estudio reciente<sup>(16)</sup> ha evaluado la rigidez de los puntos gatillo miofasciales, utilizando la elastografía para diferenciar cuantitativamente los puntos gatillo de puntos musculares control, obteniendo diferencias significativas entre ambos. Futuros estudios podrían evaluar mediante este método los cambios en los ratios de tensión antes y después de diferentes modalidades de tratamiento, así como la relevancia clínica de la elastografía en patologías del sistema musculoesquelético.

### 3. Conclusión

En estos últimos 10 años, la ecografía ha desarrollado mejoras técnicas que permiten adquirir, de forma fiable y válida, aspectos cualitativos sobre la morfología y calidad muscular en imágenes panorámicas, softwares offline que permiten calcular la ecointensidad y el porcentaje de grasa intramuscular, y técnicas de imagen mediante elastografía para cuantificar la rigidez de los puntos gatillo miofasciales.

### Referencias bibliográficas

1. Whittaker JL, Ellis R, Hodges PW, OSullivan C, Hides J, Fernandez-Carnero S, Arias-Burúa JL, Teyhen DS, Stokes MJ. Imaging with ultrasound in physical therapy: What is the PT's scope of practice? A competency-based educational model and training recommendations. *Br J Sports Med*. 2019;53(23):1447-1453. doi: 10.1136/bjsports-2018-100193.
2. Rahnama L, Rezasoltani A, Zavieh MK, NooriKochi F, Baghban AA. Differences in cervical multifidus muscle thickness during isometric contraction of shoulder muscles: a comparison between patients with chronic neck pain and healthy controls. *J Manipulative Physiol Ther*. 2015;38(3):210-7. doi: 10.1016/j.jmpt.2014.11.008.
3. Fortin M, Rizk A, Frenette S, Boily M, Rivaz H. Ultrasonography of multifidus muscle morphology and function in ice hockey players with and without low back pain. *Phys Ther Sport*. 2019 May;37:77-85. doi: 10.1016/j.ptsp.2019.03.004.

4. Kiesel KB, Uhl TL, Underwood FB, Rodd DW, Nitz AJ. Measurement of lumbar multifidus muscle contraction with rehabilitative ultrasound imaging. *Man Ther*. 2007;12(2):161-6. doi: 10.1016/j.math.2006.06.011.

5. Whittaker JL, Teyhen DS, Elliott JM, Cook K, Langevin HM, Dahl HH, Stokes M. Rehabilitative ultrasound imaging: understanding the technology and its applications. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007;37(8):434-49. doi: 10.2519/jospt.2007.2350.

6. Valera-Calero JA, Sánchez-Jorge S, Álvarez-González J, Ortega-Santiago R, Cleland JA, Fernández-de-Las-Peñas C, Arias-Burúa JL. Intra-rater and inter-rater reliability of rehabilitative ultrasound imaging of cervical multifidus muscle in healthy people: Imaging capturing and imaging calculation. *Musculoskelet Sci Pract*. 2020;48:102158. doi: 10.1016/j.msksp.2020.102158.

7. Valera-Calero JA, Laguna-Rastrojo L, de-Jesús-Franco F, Cimadevilla-Fernández-Pola E, Cleland JA, Fernández-de-Las-Peñas C, Arias-Burúa JL. Prediction Model of Soleus Muscle Depth Based on Anthropometric Features: Potential Applications for Dry Needling. *Diagnostics (Basel)*. 2020;10(5):284. doi: 10.3390/diagnostics10050284.

8. Valera-Calero JA, Gallego-Sendarrubias G, Fernández-de-Las-Peñas C, Cleland JA, Ortega-Santiago R, Arias-Burúa JL. Cross-sectional area of the cervical extensors assessed with panoramic ultrasound imaging: Preliminary data in healthy people. *Musculoskelet Sci Pract*. 2020;50:102257. doi: 10.1016/j.msksp.2020.102257.

9. Valera-Calero JA, Gallego-Sendarrubias GM, Fernández-de-Las-Peñas C, Cleland JA, Ortega-Santiago R, Arias-Burúa JL. Panoramic Ultrasound Examination of Posterior Neck Extensors in Healthy Subjects: Intra-Examiner Reliability Study. *Diagnostics (Basel)*. 2020;10(10):740. doi: 10.3390/diagnostics10100740.

10. Valera-Calero JA, Ojedo-Martín C, Fernández-de-Las-Peñas C, Cleland JA, Arias-Burúa JL, Hervás-Pérez JP. Reliability and Validity of Panoramic Ultrasound Imaging for Evaluating Muscular Quality and Morphology: A Systematic Review. *Ultrasound Med Biol* 2020; In Press. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.10.009.

11. Gennisson JL, Deffieux T, Fink M, Tanter M. Ultrasound elastography: principles and techniques. *Diagn Interv Imaging*. 2013;94(5):487-95. doi: 10.1016/j.diii.2013.01.022.

12. Ophir J, Alam SK, Garra B, Kallel F, Konofagou E, Krouskop T, Varghese T. Elastography: ultrasonic estimation and imaging of the elastic properties of tissues. *Proc Inst Mech Eng H*. 1999;213(3):203-33. doi: 10.1243/0954411991534933.

13. Sigrist RMS, Liao J, Kaffas AE, Chammas MC, Willmann JK. Ultrasound Elastography: Review of Techniques and Clinical Applications. *Theranostics*. 2017;7(5):1303-1329. doi: 10.7150/thno.18650.

14. Ozturk A, Grajo JR, Dhyani M, Anthony BW, Samir AE. Principles of ultrasound elastography. *Abdom Radiol (NY)*. 2018;43(4):773-785. doi: 10.1007/s00261-018-1475-6.

15. Winn N, Lalam R, Cassar-Pullicino V. Sonoelastography in the musculoskeletal system: Current role and future directions. *World J Radiol*. 2016;8(11):868-879. doi: 10.4329/wjr.v8.i11.868.

16. Jafari M, Bahrpeyma F, Mokhtari-Dizaji M, Nasiri A. Novel method to measure active myofascial trigger point stiffness using ultrasound imaging. *J Bodyw Mov Ther*. 2018;22(2):374-378. doi: 10.1016/j.jbmt.2017.06.019.

# Uso de tecnología y big data para el diagnóstico y tratamiento personalizado en Fisioterapia

**Pablo Herrero Gallego**

Doctor en Fisioterapia. Docente e Investigador Universidad de Zaragoza.

**Sandra Calvo Carrión**

Doctora en Fisioterapia. Docente e Investigadora de la Universidad San Jorge.

Con el paso de los años, la Fisioterapia no ha sido ajena al desarrollo de la tecnología y ha ido incorporando tanto en el diagnóstico como en el tratamiento diferentes tecnologías, ya fuera en forma de equipos sanitarios o de software. A pesar de muchas iniciativas dirigidas al desarrollo de tecnología al servicio de la Fisioterapia, esta no ha experimentado cambios tan marcados que sí se han producido en otras disciplinas sanitarias como la medicina, que han incorporado con gran éxito la tecnología en muchas de sus especialidades (ej. inteligencia artificial en el análisis de imágenes para el diagnóstico).

Más allá de la tecnología relacionada con el desarrollo y mejora de equipos para su uso en Fisioterapia, han surgido diferentes iniciativas que se han plasmado en el desarrollo de software que, mediante el procesamiento de datos, ha permitido conocer mejor los procesos diagnósticos y optar por la realización de tratamientos más efectivos y coste-efectivos. Cada día, afortunadamente, tenemos acceso a más datos del paciente y, no solo los relativos a su problema de salud, si no también a su estilo de vida (sueño, actividad física, ingesta nutricional, etc.), que, a la postre, resultan claves para entender y modificar los problemas de salud que presenta el individuo. Sin embargo, en el día a día, el profesional sanitario se ve superado por esta gran cantidad de datos, generalmente desagregados, y que, además de implicar mucho tiempo para su procesamiento conllevan una gran dificultad tanto por la cantidad como por la diferencia de fuentes de las que provienen. La incorporación de la tecnología para el procesamiento e integración del big data ha permitido poco a poco realizar diagnósticos y tratamientos mejores y más personalizados.

A diferencia de otros campos de la Fisioterapia, donde es posible realizar investigaciones con pocos recursos, tanto humanos como económicos, esta es un área que precisa de un trabajo por parte de múltiples profesionales e importantes recursos económicos tanto para mantener como para desarrollar la tecnología que se va desplegando en las diferentes fases. Algunos ejemplos del uso de esta tecnología podrían ser simplemente el análisis de la adherencia al tratamiento que los pacientes tienen mediante el análisis de datos de uso de aplicaciones móviles. Como muestra, un metaanálisis reciente concluye que existe una evidencia de baja a moderada en el caso de aplicaciones basadas en programas de automanejo, los cuales mostraron jugar un papel

positivo en la mejora de la intensidad del dolor y la discapacidad a corto plazo en pacientes con dolor lumbar crónico.

Ejemplos de otras iniciativas más ambiciosas podrían ser:

- **Proyecto Start Back** (<https://startback.hfac.keele.ac.uk/>): La herramienta de screening Start Back fue diseñada y validada para examinar a pacientes de atención primaria con dolor lumbar en función de indicadores de pronóstico que son relevantes para la toma de decisiones iniciales. El ensayo clínico Start Back fue publicado en The Lancet y comparó la eficacia clínica y los costes del enfoque de gestión estratificada (en función de su pronóstico de bajo, medio o alto riesgo de mal resultado) frente a las mejores prácticas actuales. El ensayo fue financiado por Arthritis Research UK (ahora Versus Arthritis) y demuestra que este nuevo modelo se traduce en mayores beneficios para la salud, logrados a un menor coste medio y un mayor ahorro para los servicios de salud y la sociedad. La herramienta ayuda a los médicos de atención primaria a agrupar a los pacientes en tres categorías de riesgo de mal resultado (síntomas incapacitantes persistentes con bajo, medio y alto riesgo). Al ser capaces de clasificar a los pacientes en estos tres grupos, los médicos son capaces de dirigir las intervenciones a cada subgrupo de pacientes para ayudar a mejorar la eficacia de los tratamientos. El Impact Study fue un estudio pre-post implementación que llevó el enfoque Start Back al sistema de atención primaria del Reino Unido, confirmando que la atención estratificada para el dolor lumbar conduce a una reducción significativa de la discapacidad y de los recursos de tiempo dedicados en un 50% sin aumentar los costes de la atención médica. Esta herramienta está siendo utilizada por médicos de familia, fisioterapeutas, y profesionales del manejo del dolor para identificar sistemáticamente a los pacientes “en riesgo” de sufrir síntomas persistentes.

- **Proyecto Back-Up** (<http://backup-project.eu/>): Es un proyecto financiado por el Programa Horizonte 2020 de la Comisión Europea para desarrollar una nueva plataforma de atención sanitaria con un modelo de pronóstico para apoyar una gestión más eficaz y eficiente del dolor cervical y lumbar. Esta plataforma se basa en la representación digital de la información clínica multidimensional y en las evaluaciones in silico de posibles intervenciones. Back-UP tiene en cuenta los múltiples factores que influyen en el dolor cervical y lumbar, modelando datos de las siguientes categorías: biológico, musculoesquelético, psicológico, conductual, socioeconómico, lugar de trabajo y estilo de vida. Sobre la base de modelos específicos del paciente que utilizan estos datos, Back-UP está diseñado para proporcionar estimaciones del periodo de tiempo de mejora, tiempo para volver al trabajo en el caso de los trabajadores en situación de baja o riesgo de recurrencia, así como los costes económicos directos e indirectos de las intervenciones elegidas.

En el caso de nuestro grupo de investigación, en 2017 se concedió el proyecto europeo Prevent4Work (<https://p4work.com/>), que fue liderado por el Dr. Pablo Herrero y que tiene como objetivo la prevención de trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo, mediante

el desarrollo de programas educativos innovadores, herramientas de salud móvil adaptativas (mHealth), material de alta calidad basado en la evidencia, y acciones que puedan implementarse en la Unión Europea (UE). Aunque este proyecto incorpora una APP móvil y el diseño de un cuestionario de valoración del riesgo de padecer trastornos musculoesqueléticos, se centra principalmente en la creación de material educativo que permita ampliar la visión de la prevención de lesiones musculoesqueléticas, incorporando los factores psicosociales.

Actualmente, existen otros proyectos, tanto finalizados como en fase de diseño inicial, que tienen como objetivo seguir profundizando en el uso de la tecnología y, más concretamente, en el big data para el diagnóstico y tratamiento personalizado de fisioterapia, que denominaremos como Fisioterapia Personalizada, por su analogía con el término utilizado de medicina personalizada.

Algunos ejemplos de proyectos ya finalizados, pero en los que se sigue trabajando son:

**1. Proyecto europeo Hefora** ([www.hefora.com](http://www.hefora.com)): Plataforma de telerrehabilitación que permite que los fisioterapeutas clínicos puedan recoger datos de sus pacientes de forma sistemática y que posteriormente puedan ser analizados para prescribir ejercicios personalizados y llevar un seguimiento de los mismos. La estructuración de todos estos datos y su evolución a lo largo del tiempo permiten análisis posteriores de forma anonimizada para identificar factores relacionados, causalidad y/o patrones. En estos momentos se está en una segunda fase que permitirá incorporar información de diferentes fuentes de datos con el objetivo de analizar los factores que influyen en la salud del paciente (factores ambientales y relacionados con el estilo de vida). Se ha solicitado financiación europea para la continuación del mismo.

**2. Proyecto europeo Motigravity** (<https://marsvrsys.com/motigravity/>): Motigravity es un equipo que integra una cinta rodante con tecnología para descarga del peso corporal combinada con realidad virtual inmersiva para la reeducación de la marcha de pacientes neurológicos. El ajuste del equipo permite la personalización del tratamiento en la reeducación de la marcha en función de las características individuales de cada paciente y simulando las condiciones más cercanas a la realidad gracias a la libertad de movimiento del equipo y a los diferentes escenarios disponibles.

Otros proyectos en los que ya se ha empezado a trabajar recientemente son:

**1. Proyecto TeleEDxPhysio** (Tele-Physiotherapy Early Diagnosis Service for people with visual impairment) recientemente financiado por la ONCE para el diagnóstico del dolor lumbar en personas con discapacidad visual. Este proyecto pretende analizar con sistemas de acelerometría la cantidad y calidad de los movimientos que se producen durante la realización del test diagnóstico “The Five Times Sit to Stand Test” (FTSST) (doi:10.3171/2018.2.SPINE171416), con el objetivo de identificar parámetros que permitan caracterizar a pacientes que tienen dolor lumbar frente a aquellos que no lo tienen, y ser utilizados, a su vez, estos parámetros, como forma de monitorizar la respuesta al tratamiento de los participantes en el estudio. Como

objetivo secundario se pretende analizar la fiabilidad de este sistema en su uso domiciliario y determinar cuál es el número óptimo de sensores a utilizar.

**2. Proyecto My Gait**, solicitado a la convocatoria RETOS del plan nacional. Tiene por objetivo mejorar la calidad de vida de enfermos de Parkinson a través de plantillas inteligentes multisensores, capaces de caracterizar la marcha y la variabilidad cardíaca de los pacientes con enfermedad de Parkinson con la finalidad de extraer datos objetivos sobre la evolución del paciente que ayuden a proporcionar un tratamiento más personalizado y eficaz de la enfermedad de Parkinson y, en consecuencia, mejorar la calidad de vida de los pacientes. Los datos, procesados mediante Machine Learning, tendrán como objetivo abordar dos grandes retos en estos pacientes: disminuir el riesgo de caídas y evitar el fenómeno de congelación de la marcha.

Como conclusión, es importante destacar que el desarrollo de este tipo de proyectos exige de un trabajo en equipo y a largo plazo, así como disponer de financiación que asegure el mantenimiento de los desarrollos realizados, bien a través de convocatorias de investigación, o bien de la transferencia a empresas que puedan trasladarlos al mercado.

## **MESA 3 • SESSION 3**

Moderador:

**Juan Andrés Martín Gonzalo**

# Virtual Reality as a holistic strategy in neurorehabilitation: From the training to the assessment of motor function

**Edwin Daniel Oña Simbaña**

*EE. PhD. Department of Systems Engineering and Automation. University Carlos III, Madrid.*

**Alberto Jardón Huete**

*Department of Systems Engineering and Automation. University Carlos III, Madrid.*

**Carlos Balaguer**

*Department of Systems Engineering and Automation. University Carlos III, Madrid.*

## Introduction

According to the World Health Organization<sup>(1)</sup>, rehabilitation is defined as “a set of measures that assist individuals who experience, or are likely to experience, disability to achieve and maintain optimal functioning in interaction with their environments”. In a simplified manner, the rehabilitation process can be understood as a cycle made up of four stages: assessment, assignment, intervention, and evaluation<sup>(2)</sup>.

At present, the development of technical rehabilitation aids has focused on systems for enhancing the intervention stage, primarily. Several applications can be found in the scientific literature based on robotic systems, motion capture devices (cameras, IMUs, etc.), or virtual reality (VR). Contrary to the broad development in technical aids for intervention, few efforts have been made in automated assessment systems (AAS), although the measurement of functional problems is essential to define optimal rehabilitation treatments.

This article aims to describe the opportunities when using virtual reality and virtual environments to exercise and evaluate motor dysfunctions. The feasibility of VR as a rehabilitative approach has been explored in recent decades, showing excellent benefits in functional recovery in adjunct to traditional treatments<sup>(3,4)</sup>. However, virtual environments also offer relevant characteristics in order to measure the user’s performance according to the “golden standard” metrics commonly used in neurological rehabilitation, such as the Box and Blocks Test (BBT), Fugl-Meyer Assessment (FMA), Purdue Pegboard Test (PPT), etc.

## Virtual scenarios for recovery of upper limb motor function

In recent decades, the use of virtual environments has been investigated as an alternative in rehabilitative treatments. This strategy allows for exercising motor functionality via the performance of movements enveloped in gaming mechanics. The user’s motion is captured and transferred to

the virtual environment for controlling an avatar in the video game. Similar to other therapies in neurorehabilitation, the effectiveness of game-based training depends on repetitions and intensity; however, the effects can be boosted using the VR’s properties to become the tasks more friendly and motivating.

On this basis, there are two main aspects to consider when designing a video game for neurological rehabilitation: (1) the proper sensor(s) for motion capture, and (2) a mindful environment design to promote adherence to long-term programs and tracking of the user’s interaction with the virtual surroundings.

Current literature presents a broad variety of game-based approaches to improve motor functionality using wearable, hand-held, or contactless sensors. For example, activity-based information gathered by a wearable sensor as fit-band can be used in apps to offer activities designed to help players learn movement-based skills and play AR fitness-oriented games with leaderboards, competitions, and social network integration. This method could be useful to make people more active by making moving more playful or rewarding, especially for the elderly. Moreover, there are available a large variety of SG that use out-of-the-shelf devices (Wii remote, Oculus touch, VIVE touch) that only requires to grab them for interacting with the virtual scenario. This strategy does not track the user’s body but the sensors, giving a high accuracy in motion tracking. Several activities such as buying in a market, cooking, or sports can be trained to increase the range of motion, strength, motor coordination, etc. Finally, other strategy for capturing user’s motion is through infrared cameras as Kinect or LeapMotion, that provide depth and colour information. This method allows for a natural interaction with the environment, using gestures or arm movements for commanding an action within the game.

On account of the above, it can be appreciated that there are various alternatives for complementing a traditional rehab treatment using VR-related systems. However, the rehabilitation process is not bounded in the time since functional recovery depends on the specific characteristics of each patient, usually leading to long-term cycles. Thus, a relevant element of rehabilitation is the tracking of patient’s evolution and, in this regard, VR technology is also contributing to help clinical practitioners to enhance the traditional procedures of functional evaluation.

## Functional assessment based on Virtual Reality

The diagnosis of UE motor impairment usually is based on the observation of select movements or tasks. These actions are evaluated by a trained clinical specialist in order to estimate the functional affectation level. As example, the gross manual dexterity and coordination can be estimated using the BBT that correlates the hand function performance with the number of blocks displaced in one minute<sup>(5)</sup>. Similarly, the PPT evaluates the level of fine hand dexterity based on the number of pegs that the user can insert in the corresponding hole. Moreover, the FMA<sup>(6)</sup> attempts to assess an extended functionality domain that includes motor functioning, balance, sensation and

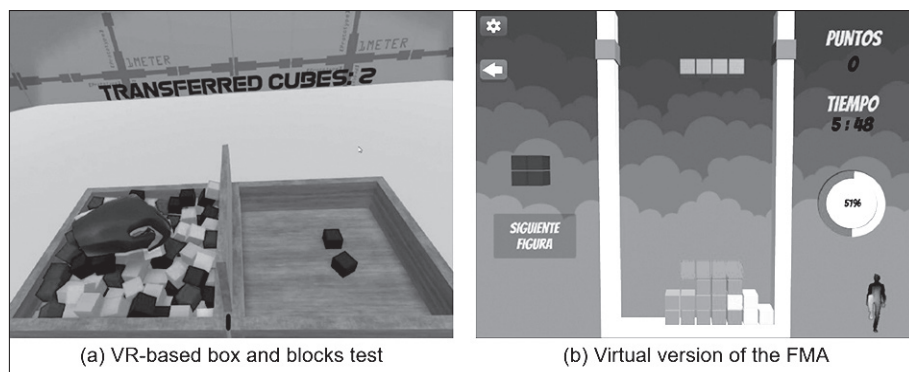
joint functioning. The FMA outcome is given according to the ability to complete various items using a 3-point ordinal scale where: 0 = unable to perform, 1 = partially performed and 2 = fully performed.

The functional estimation using the aforementioned scales aim to reduce the intra-operator (reliability) and inter-operator (objectiveness) variability. However, both the nature of visual inspection and manual administration includes some degree of uncertainty and limitations. The use of gaming technology has been explored to reduce such limitations, aiming to improve the administration and outcome generation of functional assessment processes. Figure 1 shows the virtual versions of the BBT and the FMA, whose design paradigms are the virtualization and the gamification of the clinical procedure, respectively.

#### FIGURE 1

In the case of the VR-based BBT<sup>(7)</sup>, the principle of working is to replicate in VR the physical setup and guiding the user as close as possible to the therapist-patient interaction. The user's hand movements are gathered with a LeapMotion sensor and based on the patient-environment interaction the score is given in terms of number of virtual cubes displaced. The accomplishment of the traditional test rules is checked during the test performing, making possible the automatic administration of the test. Regarding the virtual version of the FMA<sup>(8)</sup>, the evaluation is embedded into the mechanics of a game, in this case, the Tetris. Here, the patient must command the movement of the Tetris' pieces by its body movements, specifically, from the lower extremity. The position and orientation of body joints are captured with a Kinect sensor in order to evaluate the performance according to the time spent in the task.

The above are examples of virtualization (traditional procedure within virtual scenarios) and gamification (assessment enveloped in game mechanics) techniques that can lead to self-



**Figure 1.** Illustration of virtualization and gamification techniques. (a) VR-based box and blocks test, and (b) Virtual version of the Fugl-Meyer Assessment.

administrated procedures of functional assessment which maintain the properties of the traditional clinical test. Furthermore, a better usage of data captured by sensors can improve the resolution of traditional metrics.

## Conclusions

This paper advocates the use of gaming technology for improving the procedures of functional assessment in addition to the well-known support in motor training. It also describes two VR-based approaches to measure the motor function performance by modelling the test administration: virtualization and gamification. These strategies are useful to increase the metric resolution in impairment measurement towards detecting minor improvements. This approach seems promising but requires further research.

## References

1. WHO | Neurological Disorders: Public Health Challenges [Internet]. Who.int. 2021 (cited 26 January 2021). Available from: [https://www.who.int/mental\\_health/neurology/neurodis/en/](https://www.who.int/mental_health/neurology/neurodis/en/)
2. Simbaña, E. D. O., Baeza, P. S. H., Huete, A. J., & Balaguer, C. (2019). Review of automated systems for upper limbs functional assessment in neurorehabilitation. *IEEE Access*, 7, 32352-32367.
3. Bayón, M., & Martínez, J. (2010). Rehabilitación del ictus mediante realidad virtual. *Rehabilitación*, 44(3), 256-260.
4. Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane database of systematic reviews*, (11).
5. Mathiowetz, V., Volland, G., Kashman, N., & Weber, K. (1985). Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *American Journal of Occupational Therapy*, 39(6), 386-391.
6. Fugl-Meyer, A. R., Jääskö, L., Leyman, I., Olsson, S., & Steglind, S. (1975). The post-stroke hemiplegic patient. I. a method for evaluation of physical performance. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 7(1), 13-31.
7. Oña, E. D., Jardón, A., Cuesta-Gómez, A., Sánchez-Herrera-Baeza, P., Cano-de-la-Cuerda, R., & Balaguer, C. (2020). Validity of a fully-immersive VR-based version of the box and blocks test for upper limb function assessment in Parkinson's disease. *Sensors*, 20(10), 2773.
8. Oña, E. D., Jardón, A., & Balaguer, C. (2020, August). Automatic Assessment of Arm Motor Function and Postural Stability in Virtual Scenarios: Towards a Virtual Version of the Fugl-Meyer Test. In *2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)* (pp. 1-6). IEEE.

# Realidad virtual y aumentada: aplicación clínica para el aprendizaje motor en el daño neurológico degenerativo

Rosa M.ª Ortiz Gutiérrez

Fisioterapeuta.

Directora del Departamento de Fisioterapia y Jefa de Estudios. Centro Universitario de Ciencias de la Salud San Rafael-Nebrija. Madrid

## Introducción

En la última década ha sido creciente la implementación de sistemas de realidad virtual (RV) en los programas de neurorrehabilitación motora. Esta tecnología se define como la simulación de un entorno real o imaginario, creado informáticamente, en el cual la persona tiene la impresión de estar y la capacidad de interactuar con los elementos de este entorno<sup>(1)</sup>. Se basa en tres elementos fundamentales: la simulación o recreación digital en ambiente virtual, la inmersión o sensación de presencia y la interacción o relación con el mundo virtual<sup>(1)</sup>.

El uso de la RV en los programas de fisioterapia en pacientes con patología neurodegenerativa ha dado lugar a un número interesante de revisiones sistemáticas y metaanálisis. En este sentido, las patologías que han sido principalmente objeto estudio son la enfermedad de Parkinson<sup>(2-11)</sup> y la esclerosis múltiple<sup>(12-14)</sup>. Por otra parte, las variables funcionales más analizadas son las relacionadas con el equilibrio y la marcha y, secundariamente, la calidad de vida relacionada con la salud. Aunque de manera general los resultados señalan resultados positivos equiparables a los conseguidos con métodos no tecnológicos<sup>(2-14)</sup>, la aplicación de la RV en pacientes con patología neurodegenerativa requiere de un proceso de razonamiento clínico que permita superar limitaciones, tales como el empleo de software de uso general y el diseño de ejercicios que únicamente atiende a la personalización de la terapia mediante el ajuste de parámetros de interacción como son el número de elementos, la dirección y velocidad de movimiento de estos elementos en el entorno virtual.

## Objetivo

Realizar una aproximación al estado del arte del uso la RV en los programas de neurorrehabilitación motora en personas con patología neurodegenerativa. Así como, fundamentar su aplicación en base a los principios del aprendizaje motor y la evidencia científica disponible.

## Tecnología de RV utilizada en neurorrehabilitación para patología neurodegenerativa

De manera general, el tipo de RV utilizado en la rehabilitación motora de personas con patología neurodegenerativa es la RV semiinmersiva, en la que la persona es presentada por un

avatar que se visualiza dentro del entorno virtual en una pantalla, sin perder el contacto con el mundo real.

En cuanto a los soportes tecnológicos empleados para proporcionar RV semiinmersiva, los más utilizados son las consolas de videojuegos basadas en sensores de captura de movimiento mediante infrarrojos como el sistema Kinect de Microsoft® y la captación de la aceleración y orientación del movimiento a través de mandos de control remoto y plataforma dinamométrica de la consola Nintendo Wii®. Estas consolas se han utilizado fundamentalmente, empleando softwares comerciales para el público general y, en menor medida, software diseñados específicamente para la rehabilitación motora de personas con patología neurológica, sin atender a las características de patologías neurodegenerativas concretas.

## Aplicación de principios del aprendizaje motor al uso de la RV

El correcto uso de sistemas de RV en la rehabilitación motora de las personas con enfermedades neurodegenerativas debe basarse en la aplicación de los principios del aprendizaje motor y, por ende, requiere de un proceso de razonamiento clínico que responda a los siguientes aspectos:

### a) Implicación de las estructuras neurológicas afectadas en el control motor.

Una de las principales características de las enfermedades neurodegenerativas es la variabilidad de síntomas clínicos dependiente de la estructura neurológica afectada en el proceso fisiopatológico de la enfermedad, un ejemplo claro es la esclerosis múltiple.

En este sentido, a la hora de diseñar y adaptar programas de rehabilitación mediante RV es necesario conocer el daño neurológico estructural con el fin de valorar el empleo de metodologías de aprendizaje explícito que conllevan estrategias cognitivas y es dependiente de la memoria de trabajo o de aprendizaje implícito o no intencional, basado en la facilitación de analogías de los componentes sensoriomotores de la tarea a entrenar y de las experiencias de la persona<sup>(15)</sup>.

### b) Feedback sensorial que aportan los sistemas de RV.

La principal fuente de información sensorial presente en la RV es la visual. Además de permitir reconocer e identificar el entorno virtual, este feedback es fundamental como guía para la adquisición y la ejecución de programas motores, pudiendo ser también un compensador en los casos de déficit de procesamiento e integración sensorial somatosensorial o vestibular, así como la principal causa del denominado “cibermareo”<sup>(16,17)</sup>.

En función de la presentación y el uso de la información visual podemos promover, a través de la RV, modelos de aprendizaje basado en la visualización y la imitación (sistema de neuronas espejo), en el ensayo-error (cerebelo) y en el aprendizaje guiado (corteza frontal)<sup>(18)</sup>. El empleo de estos modelos de aprendizaje en las personas con patología neurodegenerativa depende de la estructura neurológica dañada.

### c) Generalización del programa motor entrenado.

La RV permite entrenar diferentes tareas motor en diferentes contextos, pero análogos al mundo real, lo que facilita la transferencia del programa motor entrenado a las actividades de la vida diaria de la persona.

En este sentido, es necesario atender a la presentación de resultados conseguidos por el usuario en los ejercicios mediante sistemas de RV. Es importantes que estos sistemas promuevan la asociación estímulo-acción-resultado, fundamental para el aprendizaje motor y la memoria procedimental<sup>(19)</sup>.

## Desafíos y oportunidades actuales

Paralelamente al creciente uso de la RV, se han empezado a desarrollar sistemas de realidad aumentada (RA), consistentes en la visualización del mundo real a través de un dispositivo tecnológico al que se incorpora información gráfica virtual, es decir, un entorno en el que los elementos físicos reales y los virtuales se combinan<sup>(20)</sup>.

En la actualidad, el número de publicaciones científicas acerca del uso de la RA en el contexto de la rehabilitación motor en pacientes con enfermedades neurodegenerativas es escaso, con un tamaño muestral poco representativo y resultados dispares<sup>(21-22)</sup>. Sin embargo, es interesante analizar algunas de las principales aportaciones terapéuticas de este tipo de realidad a la neurorehabilitación como son: una mayor precisión y orientación de la ejecución del movimiento, la facilitación de la generalización del aprendizaje motor al contexto del paciente y la incorporación de tecnología portable y cómoda.

## Referencias bibliográficas

1. Ortiz Gutierrez RM, Bermejo Franco A y Cano de la Cuerda R. Realidad virtual y videojuegos. En: Cano de la Cuerda R. Nuevas tecnologías en neurorrehabilitación: aplicaciones diagnósticas y terapéuticas. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2018. 91-108.
2. Lina C, Guoen C, Huidan W, Yingqing W, Ying C, Xiaochun C, Qinyong Y. The effect of virtual reality on the ability to perform activities of daily living, balance during gait, and motor function in Parkinson disease patients: A systematic review and meta-analysis. *Am J Phys Med Rehabil.* 2020 Oct;99(10):917-924. doi: 10.1097/PHM.0000000000001447.
3. Chen Y, Gao Q, He CQ, Bian R. Effect of virtual reality on balance in individuals with Parkinson disease: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2020 Jun 23;100(6):933-945. doi: 10.1093/ptj/pzaa042.
4. Triegaardt J, Han TS, Sada C, Sharma S, Sharma P. The role of virtual reality on outcomes in rehabilitation of Parkinson's disease: meta-analysis and systematic review in 1031 participants. *Neurol Sci.* 2020 Mar;41(3):529-536. doi: 10.1007/s10072-019-04144-3. Epub 2019 Dec 6.
5. Lei C, Sunzi K, Dai F, Liu X, Wang Y, Zhang B, He L, Ju M. Effects of virtual reality rehabilitation training on gait and balance in patients with Parkinson's disease: A systematic review. *PLoS One.* 2019 Nov 7;14(11):e0224819. doi: 10.1371/journal.pone.0224819.

6. Wang B, Shen M, Wang YX, He ZW, Chi SQ, Yang ZH. Effect of virtual reality on balance and gait ability in patients with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2019 Jul;33(7):1130-1138. doi: 10.1177/0269215519843174. Epub 2019 Apr 24.
7. Santos P, Scaldaferrri G, Santos L, Ribeiro N, Neto M, Melo A. Effects of the Nintendo Wii training on balance rehabilitation and quality of life of patients with Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis. *NeuroRehabilitation.* 2019;44(4):569-577. doi: 10.3233/NRE-192700.
8. Bluett B, Bayram E, Litvan I. The virtual reality of Parkinson's disease freezing of gait: A systematic review. *Parkinsonism Relat Disord.* 2019 Apr; 61:26-33. doi: 10.1016/j.parkreldis.2018.11.013. Epub 2018 Nov 15.
9. Morales-Gómez S, Elizagaray-García I, Yepes-Rojas O, de la Puente-Ranea L, Gil-Martínez A. Effectiveness of virtual immersion programmes in patients with Parkinson's disease: A systematic review. *Rev Neurol.* 2018 Feb 1;66(3):69-80.
10. Dockx K, Bekkers EM, Van den Bergh V, Ginis P, Rochester L, Hausdorff JM, Mirelman A, Nieuwboer A. Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016 Dec 21;12(12):CD010760. doi: 10.1002/14651858.CD010760.pub2.
11. Harris DM, Rantalainen T, Muthalib M, Johnson L, Teo WP. Exergaming as a viable therapeutic tool to improve static and dynamic balance among older Adults and People with idiopathic Parkinson's disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Aging Neurosci.* 2015 Sep 7; 7: 167. doi:10.3389/fnagi.2015.00167. eCollection 2015.
12. Moreno-Verdú M, Ferreira-Sanchez MR, Cano-de-la-Cuerda R, Jimenez-Antona C. Efficacy of virtual reality on balance and gait in multiple sclerosis. Systematic review of randomized controlled trials. *Rev Neurol.* 2019 May 1;68(9):357-368. doi: 10.33588/rn.6809.2018350
13. Casuso-Holgado MJ, Martín-Valero R, Carazo AF, Medrano-Sánchez EM, Cortés-Vega MD, Montero-Bancalero FJ. Effectiveness of virtual reality training for balance and gait rehabilitation in people with multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2018 Sep;32(9):1220-1234. doi: 10.1177/0269215518768084. Epub 2018 Apr 13.
14. Masetti T, Trevizan IL, Arab C, Favero FM, Ribeiro-Papa DC, de Mello Monteiro CB. Virtual reality in multiple sclerosis: A systematic review. *Mult Scler Relat Disord.* 2016 Jul; 8:107-12. doi: 10.1016/j.msard.2016.05.014. Epub 2016 May 21.
15. Taylor JA, Krakauer JW, Ivry RB. Explicit and implicit contributions to learning in a sensorimotor adaptation task. *J Neurosci.* 2014 Feb 19; 34 (8), 3023-2. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3619-13.2014.
16. Adamovich S, Fluet G, Tunik E, Merians A. Sensorimotor Training in Virtual Reality: A Review. *Neuro-Rehabilitation* 2009; 25: 29-40. Doi: 10.3233/NRE-2009-0497.
17. Kiryu T, So RH. Sensation of presence and cybersickness in applications of virtual reality for advanced rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil.* 2007 Sep 25;4:34. doi: 10.1186/1743-0003-4-34.
18. Ferreira dos Santos L, Christ O, Mate K, Schmidt H, Kruger J, Dohle C. Movement visualisation in virtual reality rehabilitation of the lower limb: a systematic review.
19. Levin MF, Demers M. Motor learning in neurological rehabilitation. *Disabil Rehabil.* 2020 Abr 22:1-9. doi: 10.1080/09638288.2020.1752317.

20. Gallos P, Georgiadis C, Liaskos J, Mantas J. Augmented Reality Glasses and Head-Mounted Display Devices in Healthcare. *Stud Health Technol Inform.* 2018;251:82-85.

21. Sejunaite K, Lanza C, Ganders S, Iljaitich A, Riepe MW. Augmented reality: sustaining autonomous way-finding in the community for older persons with cognitive impairment. *J Frailty Aging.* 2017;6(4):206-211. doi: 10.14283/jfa.2017.25.

22. Janssen S, de Ruyter van Steveninck J, Salim HS, Cockx HM, Bloem BR, Heida T, van Wezel RJA. The effects of augmented reality visual cues on turning in place in Parkinson's disease patients with freezing of gait. *Front Neurol.* 2020 Mar 24;11:185. doi: 10.3389/fneur.2020.00185. eCollection 2020.

## Realidad virtual en el paciente con ictus. Evidencia científica y aplicaciones clínicas en fisioterapia

---

### Roberto Cano de la Cuerda

PT, PhD. Fisioterapeuta. Doctor por la Universidad Rey Juan Carlos. Profesor Titular de Universidad. Director del Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Rey Juan Carlos. Laboratorio de Análisis del Movimiento, Biomecánica, Ergonomía y Control Motor (LAMBECOM).

---

### Introducción

El Daño Cerebral Adquirido (DCA) es considerado como “una lesión en el cerebro que, hasta el momento, había tenido un desarrollo normal”. Según el Instituto Nacional de Estadística, en España residen 420.064 personas con DCA, de los cuales un 78% se debe a un ictus<sup>(1)</sup>. El ictus es definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como un “trastorno neurológico focal de aparición repentina de origen vascular cuyos síntomas permanecen más de 24 horas o conducen a la muerte. Sus consecuencias dependen del tamaño y localización de la lesión”. Constituye segunda causa de mortalidad en el mundo y la principal causa de discapacidad neurológica en adultos<sup>(2)</sup>.

Según el Informe Atlas del ictus en España del 2019, cada año se producen 71.780 nuevos casos de ictus, presentando unos datos de mortalidad anual en torno a 27.000 personas a causa de un ictus. El ictus representa en España la segunda causa de muerte, siendo la primera en las mujeres y tercera en los hombres, por lo que es considerado un grave problema a nivel socio-económico, donde la mayoría de los supervivientes experimenta déficits asociados a la reducción de la calidad de vida<sup>(3)</sup>.

Las manifestaciones clínicas del ictus dependerán del territorio vascular de afectación, extensión y gravedad del mismo<sup>(4)</sup>. Además, la discapacidad resultante presentará una gran influencia en el entorno y en las características del individuo. Es importante reseñar que tan sólo el 10% de las personas que sufren un ictus no tiene secuelas a largo plazo. El 64% de los pacientes sufren dolor o malestar; el 62,4% presentan problemas de movilidad, el 59,1% refieren problemas para realizar sus actividades cotidianas y, de estos, el 43,8% tiene dificultades para ducharse o bañarse sin ayuda y el 56,3% para realizar tareas domésticas ligeras<sup>(5)</sup>.

Se ha observado que alrededor del 70% de los pacientes que han sufrido un ictus y han recibido una intervención tardía precisan ayuda en las actividades básicas de la vida diaria, mientras que, si el abordaje por parte del equipo multidisciplinar es precoz, este porcentaje se reduce<sup>(5)</sup>. El enfoque terapéutico basado en un equipo multidisciplinar presenta una fuerte evidencia, donde la efectividad de la actuación de la fisioterapia en estadios precoces resulta esencial<sup>(6)</sup>. Teniendo en cuenta esta

visión global de discapacidad en el paciente con ictus, la Sociedad Española de Medicina Física y Rehabilitación (SERMEF) estableció en un documento de consenso los aspectos a tener en cuenta en el proceso rehabilitador como son: el inicio precoz del tratamiento, el enfoque multidisciplinar; alcanzar una determinada intensidad y duración del tratamiento, la importancia de la participación del entorno del paciente en el tratamiento, así como la evaluación periódica de los logros alcanzados<sup>(7)</sup>.

No obstante, entre las diferentes metodologías y enfoques terapéuticos empleados en el paciente con ictus, existe una evidencia científica heterogénea, tendiendo a complementar los enfoques tradicionales, con otros modelos terapéuticos basados en los avances en el aprendizaje motor; como clave en la recuperación funcional del paciente<sup>(8-10)</sup>. Ejemplo de ello es el empleo de tecnologías en el marco de la fisioterapia, donde la realidad virtual se posiciona de una manera relevante<sup>(11)</sup>.

## Realidad virtual

El número de publicaciones científicas en relación al empleo de la realidad virtual (RV) en el paciente con ictus ha crecido exponencialmente, existiendo, a modo de ejemplo, a fecha de septiembre de 2020 un total de 795 publicaciones científicas en la base de datos PubMed (palabras clave: Virtual reality AND Stroke).

La RV se define como un sistema de computación usado para crear un mundo artificial en el cual los usuarios tienen la impresión de estar y la habilidad de navegar y manipular objetos en él<sup>(12,13)</sup>. En otras palabras, la RV es una simulación de un entorno, real o imaginario, creado por un sistema de computación, en el cual el usuario puede tener la impresión de estar y la capacidad de interactuar con los objetos en dicho entorno. Los elementos básicos que constituyen un sistema de RV son la simulación, la interacción y la inmersión<sup>(12-14)</sup>. La simulación es posible gracias a la creación digital de un mundo artificial, denominado entorno o ambiente virtual, el cual tiene una representación geométrica 3D que permite establecer una relación de semejanza con el mundo físico en el espacio y el tiempo. La RV debe permitir la interacción, es decir, a través de sus acciones, la persona interviene en el entorno virtual de forma directa. La RV utiliza interacción implícita, es decir el sistema capta la voluntad de la persona a través de sus gestos y movimientos naturales. Para llevar a cabo este proceso de interacción los sistemas de RV cuentan con dispositivos periféricos de entrada o sensores, que registran y capturan los movimientos de la persona en tiempo real y transmiten esta información al sistema (acelerómetros, giroscopios, sistemas de infrarrojos y electromagnéticos, guantes o micrófonos). El nivel de interacción depende en gran medida del número de acciones que estos sensores permiten a la persona (coger y mover objetos, cambiar de posición, caminar) en el entorno virtual, así como de la respuesta a dichas acciones o interactividad sensorial por parte del sistema. La respuesta o feedback sensorial da lugar a la sensación de presencia o inmersión, es decir, la capacidad del sistema de RV de aislar a la persona del mundo real percibiendo únicamente los estímulos del mundo virtual. Los encargados de transformar las señales

generadas informáticamente en estímulos son los periféricos de salida o efectores. En función del sistema sensorial al que van dirigidos distinguimos entre: dispositivos de visualización (cascos y gafas estereoscópicas, pantallas de proyección), de audio (altavoces), hápticos o de percepción táctil y cinestésica manual (guantes de vibración, de neumáticos con cámara de aire, termoelectrónicos y exoesqueletos manuales ligeros de resistencia) y cinestésicas (sensores inerciales). Cuanto mayor sea el número de sistemas sensoriales estimulados, mayor será el grado de inmersión<sup>(12-14)</sup>.

Se distinguen diferentes tipos de RV<sup>(13)</sup>:

### *Realidad virtual inmersiva*

La RV inmersiva, o en primera persona, caracterizada porque el usuario se siente totalmente sumergido en el mundo virtual. Este tipo de RV requiere de dispositivos periféricos de sensores y efectores como cascos, gafas de RV y guantes.

### *Realidad virtual semiinmersiva de proyección*

En este tipo de RV es utilizada mesas estereoscópicas o CAVEs (Computer Automatic Virtual Environment), donde el entorno virtual es generado mediante un sistema de triple de proyección de imágenes en pantallas que forman una cabina de RV. Al igual que la RV inmersiva, requiere del uso de sistemas de visualización como gafas y de guantes.

### *Realidad virtual semiinmersiva de segunda persona*

En la RV semiinmersiva de segunda persona el usuario se visualiza dentro del mundo virtual a través de una pantalla, sin perder el contacto con el mundo real. Estos modelos de RV semiinmersiva se generan por un sistema de captura de imagen o por una representación digital del cuerpo o de una parte del mismo denominada avatar o identidad virtual, la cual reproduce los movimientos de la persona en el entorno virtual. Este tipo de RV suele requerir de dispositivos periféricos adicionales.

### *Realidad virtual no inmersiva*

También denominada RV de ventanas o escritorio, en la que la persona visualiza el mundo virtual 3D en un monitor e interactúa con el sistema a través de un teclado, mando, un ratón o un joystick 3D, sin que se precise de otro tipo de hardware o periférico adicional conectado al ordenador. Este tipo de RV comúnmente se utiliza en programas de rehabilitación neuropsicológica con el fin de mejorar capacidades cognitivas. Además, se diferencian de los anteriores por su bajo coste e incluir los sistemas de videojuegos como la Nintendo Wii® (Nintendo), PlayStation® (Sony) y Xbox® (Microsoft).

Los sistemas de videojuegos empleados en neurorrehabilitación del paciente con ictus permiten introducir en el contexto terapéutico elementos clave como la interacción con un sistema de RV de bajo coste, mediante el movimiento y la realización de tareas funcionales, repetitivas, a través de una interfaz sencilla que proporcione feedback, motivación e intensidad en el abordaje de los déficits sensoriomotores en estos pacientes<sup>(12,13)</sup>.

## Realidad virtual en el paciente con ictus. Evidencia científica y aplicación clínica en fisioterapia

Recientes metaanálisis indican que los sistemas de RV (específicamente diseñados, así como no específicos, pero adaptables para obtener una aplicabilidad terapéutica en los del ictus) deben introducir diferentes elementos en la terapia para que esta induzca beneficios clínicos en el paciente. Estos elementos son: práctica orientada a actividades con variabilidad, forzar el uso del hemisferio afecto, incremento de la dificultad e importancia en los sistemas de feedback implícito y explícito<sup>(15)</sup>.

La Cochrane Library, a través de su última revisión sistemática publicada sobre esta temática publicada en 2017<sup>(16)</sup>, indicaba que cuando la RV se utiliza como complemento a la atención habitual (proporcionando una dosis mayor de tratamiento para los del grupo de intervención) proporciona mejoras significativas sobre el miembro superior. No obstante, no parece alcanzar dichos resultados al comparar la RV con el tratamiento convencional en términos de función de los miembros superiores.

En relación al control postural, la RV en comparación con los enfoques terapéuticos convencionales, no parece presentar efectos significativos sobre la velocidad de la marcha o el equilibrio. No obstante, la RV combinada con el tratamiento convencional es más efectiva que el tratamiento convencional en términos de equilibrio y control postural<sup>(17)</sup>, aunque dichos efectos no parecen tan claros en la fase subaguda del ictus<sup>(18)</sup>.

La evidencia científica es heterogénea, incierta y, en ocasiones, contradictoria en relación a sus efectos sobre la función cognitiva, no siendo posible agrupar los resultados para la restricción de la participación o la calidad de vida<sup>(16)</sup>.

Es relevante destacar que las intervenciones de RV en el paciente con ictus parecen no conllevar eventos adversos derivados graves, siendo los informados relativamente leves. Finalmente, el tiempo desde la aparición del ictus y la gravedad de la deficiencia no fueron factores que influyeran en el resultado, tendiendo a resultados positivos aquellas intervenciones con dosis mayor (más de 15 horas de intervención total), así como mediante el uso de sistemas programas personalizados de RV<sup>(16)</sup>.

Entre los sistemas específicos de RV en el paciente con ictus comerciales destacan: Rehabilitation Gaming System®, IREX®, VirtualRehab® y Rehametrics®.

## Videjuegos en el paciente con ictus. Evidencia científica y aplicación clínica en fisioterapia

Los videojuegos (VJ) han cobrado una gran relevancia en la sociedad actual. Los VJ aplicados al uso en el ámbito de la discapacidad pueden tomar varias formas: como fenómeno de ocio, como recurso educativo, y como herramienta rehabilitadora. En cualquiera de los casos, es necesario el

poder participar activamente en el VJ (accesible y adaptado) para poder obtener los beneficios derivados de su uso<sup>(19)</sup>.

Tomando el juego como modelo de aprendizaje, los *serious games* se basan en el entretenimiento siendo aplicaciones con un propósito distinto al puramente lúdico. Los *serious games* están cada vez más presentes en muchos sectores como la rehabilitación funcional en el paciente con ictus. En la actualidad, las consolas Nintendo Wii®, XBOX 360® (junto con el dispositivo Kinect®), así como PlayStation® están siendo empleadas en como herramientas coadyuvantes a los tratamientos de rehabilitación convencionales en dichos pacientes<sup>(12,13)</sup>.

El número de publicaciones científicas en este campo han proliferado de manera considerable, aunque con una calidad metodológica variable<sup>(11)</sup>. De modo esquemático, y sin perder la perspectiva de cada caso específico, las preferencias del paciente, la formación de los terapeutas y la disposición de dichos recursos materiales, la evidencia disponible, apoyada en recientes revisiones sistemáticas y metaanálisis, parece apuntar que:

- El entrenamiento de pacientes con ictus subagudo con el mando de Nintendo Wii® no parece ser mejor que el tratamiento convencional, suponiendo un aumento de los costes<sup>(20)</sup>. La evidencia disponible es limitada, heterogénea e insuficiente<sup>(21)</sup>. Parece, eso sí, no reportar efectos adversos y son necesarias al menos tres horas de intervención a la semana para conseguir efectos sobre actividades de la vida diaria y la funcionalidad en pacientes con ictus con <6 meses de evolución<sup>(22)</sup>.

- La Nintendo Wii Board® en pacientes con ictus crónico (>6 meses) no es efectiva en la mejora del equilibrio<sup>(23,24)</sup>. Sin embargo, Nintendo Wii Board® parece ser tan efectiva como los enfoques de neurofacilitación (NDT) en términos de funcionalidad y calidad de vida con protocolos de tratamiento de 45–60 minutos al día, tres días a la semana durante diez semanas en los pacientes con ictus en fase subaguda<sup>(25)</sup>.

- El sistema Kinect + XBOX®, en combinación con la rehabilitación convencional, podría aportar mejorar en el equilibrio y el control postural, la independencia funcional, la calidad de vida relacionada con la salud, la motivación, autoestima y adhesión en pacientes con ictus subagudo<sup>(14)</sup>.

- El sistema Kinect + XBOX®, en combinación con el tratamiento convencional parece ser mejor que aisladamente el tratamiento convencional, en términos de equilibrio y marcha en pacientes con ictus crónico<sup>(26)</sup>.

- El sistema Kinect + XBOX®, en combinación con el tratamiento convencional parece ser superior que el tratamiento convencional en términos de la función motora, rango de movimiento y coordinación del miembro superior en pacientes con ictus<sup>(27)</sup>.

- Sin embargo, existe una gran heterogeneidad en términos de los protocolos empleados con el sistema Kinect + XBOX® (12-40 sesiones, 2-5 veces/semana, 30-120 minutos por

sesión)<sup>(28)</sup>. Generalmente, 4 softwares comerciales son empleados: *Kinect Sports I y II*®, *Kinect Adventures*® y *Kinect Gunstringer*®<sup>(28)</sup>.

Finalmente, el futuro de los sistemas de VJ en el paciente con ictus podría pasar por el estudio de la aplicabilidad y evidencia científica derivada del uso de la RV PlayStation VR®, la cámara PlayStation® y los mandos PlayStation Move®; la Nintendo Switch®, con sus periféricos Joy-Con® y Ring Fit®; así como determinar si la futura Xbox Series X® presentaría algún tipo de aplicabilidad en estos pacientes.

### Crterios de inclusión, efectos adversos y usabilidad

Si bien, existe un gran interés clínico e investigador derivado del uso de la RV en el paciente con ictus, es necesario destacar que no todos los pacientes serán candidatos a ser tratados con esta tecnología, o bien no todos los dispositivos pueden ser empleados en cualquier paciente con ictus. Por ello, es necesario determinar unos criterios claros de inclusión y exclusión, en aras de obtener buenos resultados clínicos. Entre los criterios de exclusión sobre el uso de la RV en el paciente con ictus, destacan las alteraciones visuales graves, el deterioro cognitivo severo, la falta de colaboración o rechazo a esta tecnología, la presencia de hipertensión severa, fundamentalmente en los sistemas de captura del movimiento, así como la presencia de epilepsia fotosensible<sup>(13)</sup>.

Es importante señalar que estos sistemas no están exentos de complicaciones que, si bien parecen no ser muy frecuentes en los estudios revisados, están descritos bajo el paraguas terminológico de enfermedad del simulador o cibermalestar (del inglés, cybersickness). Entre estos síntomas se encuentran: la fatiga visual, dolor de cabeza, náuseas, visión borrosa, confusión, mareos, irritación y rechazo. Por ello, es recomendable el empleo de cuestionarios como el *Simulator Sickness Symptoms* o *The Short Symptoms Checklist* hasta 45 minutos posteriores a la intervención con RV para cribar la presencia de estos síntomas.

Finalmente, los estudios científicos comienzan a informar sobre la usabilidad derivada del uso de la RV, así como sobre la satisfacción y experiencia percibida tras el tratamiento mediante sistemas de RV. Fundamentalmente, se emplea el cuestionario general *Client Satisfaction Questionnaire 8-items* (CSQ-8), así como los específicos como el *Questionnaire for User Interface Satisfaction*, el *System Usability Scale*, la *Task Load Index*, *The Game Experience Questionnaire Enjoyment* y la *Presence, Performance and Physiological Measurement*.

### Conclusiones

La RV y VJ son herramientas terapéuticas útiles como medidas coadyuvantes en el tratamiento de las alteraciones del control motor en el paciente con ictus. No obstante, es necesario tener en cuenta la fase de recuperación y gravedad del cuadro clínico, el protocolo a realizar, el tipo de RV, así como el sistema empleado (específicamente diseñado vs. comercial).

Futuras investigaciones deberían incorporar elementos de usabilidad, satisfacción, motivación y adherencia al tratamiento, de manera adicional al análisis del coste-beneficio del tratamiento de fisioterapia en el paciente con ictus mediante estas tecnologías.

### Referencias bibliográficas

1. De Noñera D, Ríos-Lago M, Bombín-González I, Sánchez-Cubillo I, García-Molina A, Tirapu-Ustárrroz J. Efectividad de la rehabilitación neuropsicológica en el daño cerebral adquirido (I): atención, velocidad de procesamiento, memoria y lenguaje. *Rev Neurol* 2010; 51(11):687-98.
2. Durá Mata MJ, Molleda Marzo M, García Almazán C, Mallol Badellino J, Calderón Padilla V. Factores pronósticos en el ictus. De la fase aguda a los tres años. *Rehabilitación* 2011;45(1):18-23.
3. Grupo de Estudio de Enfermedades Cerebrovasculares de la Sociedad Española de Neurología. Atlas del ictus. España 2019. Sociedad Española de Neurología-Weber; 2019.
4. Estrada-Barranco C, Cano-de-la-Cuerda R, Molina-Rueda F. Construct validity of the wisconsin gait scale in acute, subacute and chronic stroke. *Gait & Posture* 2019; 68:363-368.
5. Veerbeek JM, Van Wegen E, Van Peppen R, Van der Wees PJ, Hendriks E, Rietberg M, et al. What is the evidence for physical therapy poststroke? A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2014; 9: e87987.
6. Pin-Barre C, Laurin J. Physical exercise as a diagnostic, rehabilitation, and preventive tool: influence on neuroplasticity and motor recovery after stroke. *Neural Plast* 2015; 2015: 608581.
7. Duarte E, Alonso B, Fernández MJ, Fernández JM, Flórez MJ, García-Montes I, Gentil J, et al. Rehabilitación del ictus: modelo asistencial. Recomendaciones de la Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física, 2009. *Rehabilitación (Madr)* 2010;44(1):60-68.
8. Rudd AG, Wade D, Irwin P. The National Clinical Guidelines for Stroke. *J R Coll Phys Lond* 2000;34:131-3.
9. Kwakkel G, Kollen BJ, Wagenaar RC. Therapy impact on functional recovery in stroke rehabilitation. A critical review of the literature. *Physiotherapy* 1999;85: 377-91.
10. Florez MT. Intervenciones para mejorar la función motora en el paciente con ictus. *Rehabilitación (Madr)* 2000;34(6):423-437.
11. Pintado-Izquierdo S, Cano-de la Cuerda R, Ortiz-Gutiérrez RM. Video Game-Based Therapy on Balance and Gait of Patients with Stroke: A Systematic Review. *Applied Sciences* 2020;10(18): 6426.
12. Cano-de la Cuerda R, Ortiz R. Nuevas tecnologías y control motor: robótica, realidad virtual y videojuegos. En: Cano R, Martínez RM, Miangolarra JC [eds]. *Control y Aprendizaje Motor. Fundamentos, desarrollo y reeducación del movimiento humano*. Panamericana: Madrid; 2016.
13. Ortiz R, Bermejo A, Cano-de la Cuerda R. Realidad virtual y videojuegos. En: Cano-de la Cuerda R [eds]. *Nuevas tecnologías en Neurorrehabilitación. Aplicaciones diagnósticas y terapéuticas*. Panamericana: Madrid; 2018.
14. Cano-Mañas MJ, Collado-Vázquez S, Rodríguez Hernández J, Muñoz-Villena AJ, Cano-de la Cuerda R. Effects of video-game based therapy on balance, postural control, functionality and quality of life of patients with subacute stroke: a randomized controlled. *J Healthc Eng* 2020; 2020:5480315.

15. Maier M, Rubio Ballester B, Duff A, Duarte Oller E, Verschure PFM. Effect of Specific Over Nonspecific VR-Based Rehabilitation on Poststroke Motor Recovery: A Systematic Meta-analysis. *Neurorehabil Neural Repair*. 2019 Feb;33(2):112-129.
16. Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017 Nov 20;11(11):CD008349.
17. Mohammadi R, Semnani AV, Mirmohammadkhani M, Grampurohit N. Effects of Virtual Reality Compared to Conventional Therapy on Balance Poststroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2019 Jul;28(7):1787-1798.
18. Chen L, Lo WL, Mao YR, Ding MH, Lin Q, Li H, Zhao JL, Xu ZQ, Bian RH, Huang DF. Effect of Virtual Reality on Postural and Balance Control in Patients with Stroke: A Systematic Literature Review. *Biomed Res Int*. 2016;2016:7309272.
19. Pérez-Castilla L (coord). Buenas prácticas de accesibilidad en videojuegos. Madrid: IMSERSO; 2012.
20. Adie K, Schofield C, Berrow M, Wingham J, Humphries J, Pritchard C, James M, Allison R. Does the use of Nintendo Wii Sports™ improve arm function? Trial of Wii™ in Stroke: a randomized controlled trial and economics analysis. *Clin Rehabil*. 2017 Feb;31(2):173-185.
21. Pietrzak E, Cotea C, Pullman S. Using commercial video games for upper limb stroke rehabilitation: is this the way of the future? *Top Stroke Rehabil*. 2014 Mar-Apr;21(2):152-62.
22. Thomson K, Pollock A, Bugge C, Brady M. Commercial gaming devices for stroke upper limb rehabilitation: a systematic review. *Int J Stroke*. 2014 Jun;9(4):479-88.
23. Iruthayarajah J, McIntyre A, Cotoi A, Macaluso S, Teasell R. The use of virtual reality for balance among individuals with chronic stroke: a systematic review and meta-analysis. *Top Stroke Rehabil*. 2017 Jan;24(1):68-79.
24. Dos Santos LR, Carregosa AA, Masruha MR, Dos Santos PA, Da Silveira Coêlho ML, Ferraz DD, Da Silva Ribeiro NM. The Use of Nintendo Wii in the Rehabilitation of Poststroke Patients: A Systematic Review. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2015 Oct;24(10):2298-305.
25. Simsek TT, Çekok K. The effects of Nintendo Wii(TM)-based balance and upper extremity training on activities of daily living and quality of life in patients with sub-acute stroke: a randomized controlled study. *Int J Neurosci*. 2016 Dec;126(12):1061-70.
26. Park DS, Lee DG, Lee K, Lee G. Effects of Virtual Reality Training using Xbox Kinect on Motor Function in Stroke Survivors: A Preliminary Study. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2017 Oct;26(10):2313-2319.
27. Sin H, Lee G. Additional virtual reality training using Xbox Kinect in stroke survivors with hemiplegia. *Am J Phys Med Rehabil*. 2013 Oct;92(10):871-80.
28. Xavier-Rocha TB, Carneiro L, Martins GC, Vilela-Júnior GB, Passos RP, Pupe CCB, Nascimento OJMD, Haikal DS, Monteiro-Junior RS. The Xbox/Kinect use in poststroke rehabilitation settings: a systematic review. *Arq Neuropsiquiatr*. 2020 Jun;78(6):361-369.

## **MESA 4 • SESSION 4**

Moderadora:

**Irene Rodríguez Andonaegui**

# Aplicación de la fisioterapia por medio de las nuevas tecnologías en el dolor de cuello

**Josué Fernández Carnero**

Fisioterapeuta.

Doctor Europeo en Estudio y Tratamiento del Dolor, Universidad Rey Juan Carlos.

Profesor Titular, Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional,

Rehabilitación y Medicina Física, Universidad Rey Juan Carlos.

## Introducción

El dolor de cuello es uno de los problemas más frecuentes para visitar a un médico de familia o fisioterapeuta en atención primaria en Europa<sup>(1,2)</sup>. La gran carga que genera este dolor se ha vuelto a mostrar recientemente en la revista Lancet, en el estudio sobre la carga mundial de morbilidad en las enfermedades. Dicho estudio clasificó el dolor de cuello en octavo lugar en las mujeres y en duodécimo lugar en los hombres<sup>(3)</sup>. Es un dolor que está en los primeros puestos en lo que se refiere a la búsqueda de cuidados médicos<sup>(4)</sup> y, al menos, una de cada tres personas con dolor de cuello presentará persistencia de sus síntomas<sup>(5)</sup>.

El dolor inespecífico de cuello no tiene un origen conocido, pero se relaciona con las estructuras musculares y articulares. Aproximadamente, el 70% de los pacientes con dolor crónico de cuello, muestran una disminución de la fuerza y la resistencia de los músculos flexores cervicales profundos que desempeñan un papel importante en el mantenimiento del control postural y la estabilidad del cuello<sup>(6,7)</sup>. Los pacientes con dolor de cuello mueven su columna cervical con mayor lentitud, con reducida precisión y con asimetría en comparación con las personas sanas<sup>(8)</sup>. Por otro lado, el rango de movimiento (ROM) está limitado en estos pacientes y se correlaciona con la intensidad del dolor de cuello y el grado de discapacidad<sup>(9)</sup>.

Existen muchos factores que influyen en el dolor de cuello, pero los psicosociales juegan un papel importante, además de los factores mencionados anteriormente. El miedo al movimiento (kinesiofobia) y el catastrofismo, se han visto que influyen en un peor pronóstico y una mayor cronicidad del dolor, generando mayor intensidad de dolor y discapacidad cuando están presentes<sup>(10,11)</sup>. Estos factores psicológicos desencadenan una disminución de la funcionalidad que se explica por el «modelo de miedo-evitación», asociado a un aumento de la hipervigilancia, que conduce a un círculo vicioso de factores psicológicos y físicos que reducen el umbral en el que se desencadena el dolor de cuello<sup>(12)</sup>. Los niveles elevados de miedo al movimiento pueden correlacionarse con una disminución del ROM cervical y/o la velocidad del movimiento cervical. La discapacidad cervical también se correlaciona positivamente con el catastrofismo del dolor en pacientes con dolor cervical crónico y dolor cervicocraneofacial, contribuyendo a la intensidad del dolor y a la progresión de los trastornos<sup>(13)</sup>.

En cuanto al dolor de cuello, también se ha podido demostrar que estos pacientes presentan alteraciones del procesamiento con hiperalgesia mecánica local y a distancia, incluso se ha encontrado hiperalgesia bilateral generalizada<sup>(14-16)</sup>. En algunos subgrupos de pacientes con dolor de cuello, han encontrado que el dolor generalizado está asociado con los factores psicológicos como la ansiedad<sup>(15)</sup>.

De todos los tratamientos que se realizan desde las ciencias de la rehabilitación, el ejercicio es el que tiene mayor apoyo científico y clínico para la mejora del dolor y la discapacidad, aunque sin conocer con exactitud la dosis ideal<sup>(17)</sup>.

### *Realidad virtual en el tratamiento del dolor de cuello*

El desarrollo de las nuevas tecnologías ha reducido su tamaño y coste para poder ser utilizadas en muchas disciplinas y, sobre todo, en las ciencias de la rehabilitación. La realidad virtual inmersiva ofrece a los usuarios la sensación de ser transportados a mundos interactivos y tridimensionales. Los usuarios pueden participar en actividades de entornos imaginarios a través de inmersión de 360° en una realidad alternativa<sup>(18)</sup>. Se puede utilizar con dispositivos montados en la cabeza o por medio de pantallas de ordenador<sup>(19)</sup>. La distracción atencional (definida como desviar la atención del dolor) es un tipo de intervención muy utilizada. Por otro lado, la realidad virtual (RV) se define como un sistema informático utilizado para crear un mundo artificial en el que los usuarios tienen la impresión de poder navegar y manipular objetos en él<sup>(20,21)</sup>. El tratamiento de la RV se basa en tres elementos básicos: simulación, interacción e inmersión. Gracias a estos tratamientos, el paciente interactúa intuitivamente percibiendo estímulos visuales, auditivos, táctiles o cinestésicos en un mundo virtual<sup>(22)</sup>. Por lo tanto, el tratamiento con RV ofrece una mayor retroalimentación, convirtiendo la técnica en un poderoso mecanismo de distracción del dolor. Se ha utilizado en pacientes con quemaduras, sensibilización central, dolor crónico y trastornos neurológicos<sup>(23,24)</sup>. La interacción y la inmersión en los sistemas de RV determinan los distintos tipos de RV (inmersiva, proyección de semiinversión, semiinversión en segunda persona, no inmersiva o videojuegos).

Hay varias teorías por las que se pueden producir los efectos analgésicos al aplicar la RV y hay una variedad de enfermedades en las que se han utilizado, que van desde el estrés postraumático<sup>(25)</sup> hasta el dolor<sup>(26-29)</sup>.

Aunque no se conocen con precisión los mecanismos de acción de la RV, la distracción y, por otro lado, la exposición a los contextos inmersivos de la RV son las principales hipótesis que se atribuyen a una mejora de la competencia de la memoria y/o de las emociones y permiten un mejor control del estrés y del dolor<sup>(30,31)</sup>.

Los investigadores aún no han determinado si la inmersión en la RV, por sí sola, es suficiente para aliviar el dolor o si el compromiso cognitivo, para el que son necesarias experiencias guiadas, es relevante. Pero lo que sí tiene más apoyo, es que la distracción es importante para el uso clínico aplicado de la RV<sup>(32)</sup>.

La realidad virtual estimula la corteza visual y, al mismo tiempo, hace intervenir otros sentidos y podría limitar el procesamiento de la entrada de señales nociceptivas por parte del usuario<sup>(33)</sup>.

La RV ha demostrado su eficacia para reducir el dolor durante los cambios de las vendas en quemaduras graves, en la colocación de vías intravenosas y en procedimientos dentales<sup>(33)</sup>.

En un estudio reciente, que ha evaluado los efectos de la RV sobre los umbrales de tolerancia al dolor térmico asociado a los cambios en el sistema autónomo y a las respuestas emocionales relacionados con el dolor<sup>(24)</sup>, encontraron que la RV aumenta los umbrales de tolerancia al calor y, además, mejora el estado de humor y disminuye la ansiedad situacional. Además, la RV demostró aumentar la actividad del sistema nervioso simpático, compatible con un estado de relajación, con una percepción menos desagradable del dolor, menos ansiedad y mejor estado de humor que los grupos controles o el grupo que es sometido a una tarea de trabajo de la memoria como grupo de comparación. Los mecanismos por los que se producen los efectos en la tolerancia al dolor, se pueden explicar por las respuestas del sistema nervioso autónomo que favorece la relajación con la activación del sistema nervioso parasimpático, y se especula que esa experiencia relajante podría reequilibrar el SN autónomo para que la tolerancia al dolor sea contrarrestada por el estado de relajación que produce la RV.

Se puede sugerir que las intervenciones de RV afectan a múltiples vías sensoriales que conectan el estado de humor, la ansiedad situacional y la sensación de placer, y que podría tener un papel en la experiencia de los beneficios terapéuticos.

Aunque una reciente revisión sistemática ha encontrado una fuerte evidencia de la RV para reducir el dolor en espondilitis anquilosante y en dolor postmastectomía, sin embargo, los resultados en pacientes con dolor de cuello son contradictorios y no pueden concluir algo claro. En cambio, para el dolor lumbar no ha demostrado efectos positivos ni tampoco hay ensayos controlados para el dolor neuropático de las extremidades ni para el dolor de miembro fantasma<sup>(34)</sup>. También, concluyen que la RV, aunque no haya demostrado claramente los efectos para reducir el dolor, sí que puede tener efectos para reducir el miedo, aumentar la adherencia, mejorar la discapacidad y mejorar el rango de movimiento, ya que sí que se encontraron efectos significativos para los dolores referenciados anteriormente; entre ellos, la RV inmersiva podría utilizarse en pacientes con dolor de cuello como una medida terapéutica de bajo coste en el tratamiento del dolor cervical crónico, debido a su adaptabilidad y a su distracción<sup>(22,35)</sup>.

Los efectos hipotalgésicos de la distracción mediante la RV se han investigado principalmente en sujetos sanos, sometiéndoles a dolor inducido experimentalmente o durante el dolor agudo de los procedimientos.

Dos ensayos clínicos han evaluado previamente la eficacia de la RV en personas con dolor de cuello<sup>(20,21)</sup>, encontrado mejoras estadísticamente significativas en el rango de flexión del cuello, la velocidad, la precisión del movimiento, la calidad de vida, la intensidad del dolor y la discapacidad

cervical con la RV en comparación con el grupo control, en el que se realizó entrenamiento cinemático con láser sobre la cabeza, y con otro grupo no tratado.

No obstante, los resultados de estos estudios se obtuvieron utilizando el mismo sistema de RV para medir la función del cuello, por lo que el entrenamiento previo de los pacientes podría haber influido en los resultados<sup>(35)</sup>. Aunque otros estudios no han podido demostrar un efecto hipotalgésico de la distracción, la mayoría de los estudios han demostrado que la distracción sí reduce el dolor en situaciones agudas<sup>(22)</sup>. Un metaanálisis, publicado en 2019<sup>(23)</sup>, mostró que la RV aplicada a pacientes con dolor de cuello era prometedora a la hora de producir efectos positivos cuando se aplica sola o combinada con ejercicios.

En un estudio que hemos realizado recientemente, en el que comparamos los ejercicios activos frente al uso de la RV para la mejora de la intensidad del dolor; así como, sobre la modulación condicionada del dolor (MCD), la sumación temporal (ST) y los factores psicológicos y funcionales en pacientes con dolor de cuello crónico inespecífico<sup>(36)</sup>, hemos encontrado que todas las variables mejoran por igual en los dos grupos excepto la kinesiofobia. En el grupo de RV disminuyó más de 10 puntos a los 3 meses, por lo que la RV muestra ser más efectiva en reducir el miedo relacionado con el movimiento en pacientes con dolor de cuello inespecífico, aparte de reducir el dolor igual que lo hacen los ejercicios prescritos habitualmente.

Aunque no hay estudios previos que evalúen los efectos de la RV sobre las variables de modulación del dolor y los umbrales de dolor a la presión, un estudio en el que aplicaron RV con un dispositivo montado sobre la cabeza en sujetos sanos, reporta cambios en la modulación condicionada y en los umbrales de dolor a la presión en cuádriceps y antebrazo<sup>(37)</sup>.

#### *Técnicas de representación de imagen para el tratamiento del dolor de cuello*

Las técnicas de representación del movimiento basadas en la acción observada (AO) y las imágenes motoras (IM) han mostrado resultados positivos en la reducción del dolor en algunos trastornos neuropáticos y musculoesqueléticos<sup>(38,39)</sup>. Estas técnicas también han demostrado ser capaces de inducir cambios en el rango de movimiento y la fuerza muscular en sujetos asintomáticos<sup>(38,40)</sup>.

La AO evoca una simulación motora interna, en tiempo real, de los movimientos que el observador percibe visualmente<sup>(41)</sup>, mientras que la IM es un proceso cerebral que hace que ocurra una acción motora sin ejecución real<sup>(42)</sup>. Ambas modalidades activan mecanismos neuronales similares a los procesos relacionados con la ejecución y la planificación del movimiento real<sup>(43,44)</sup>. La observación de actividades produce cambios en la representación del córtex motor y refuerza la representación cortical de la acción. Uno de los postulados que explican estos mecanismos, es el sistema de neuronas espejo<sup>(45)</sup>. Estas neuronas se activan de forma similar, tanto si se realiza una acción, como si se está observando<sup>(46,47)</sup>. El sistema de neuronas espejo se encuentra en el lóbulo parietal inferior y gyrus frontal inferior, pero también en el córtex motor primario, secundario, córtex premotor y área motora suplementaria<sup>(45,46)</sup>. Se ha encontrado que la observación de

las acciones aumenta la excitabilidad corticoespinal en sujetos sanos, cuando se combina con la intención de imitar con la práctica física<sup>(48,49)</sup>. Otros estudios, han encontrado que la observación de una acción de forma repetida es efectiva para mejorar la ejecución de una capacidad motora<sup>(50,51)</sup>. Aunque no se conocen bien los mecanismos, hay evidencia de que se activan por la observación el córtex premotor y el lóbulo parietal inferior<sup>(51)</sup>, encontrando una correlación positiva entre la cantidad de representación cortical del movimiento y el grado de activación corticoespinal durante la observación de una acción repetida<sup>(51)</sup>.

En cuanto a las técnicas de representación del movimiento aplicadas a la región cervical específicamente, se ha encontrado que los ejercicios cervicales AO y IM pueden producir cambios en los umbrales de dolor a la presión en pacientes con dolor de cuello<sup>(52-54)</sup>. En sujetos asintomáticos se ha descrito que la combinación del ejercicio cervical con el IM produce cambios sensoriales y motores, estos cambios también se han observado usando AO y IM en forma aislada<sup>(55,56)</sup>. Se ha descubierto que otra modalidad de IM implícita llamada «tarea de discriminación de lateralidad de los movimientos cervicales» produce cambios en los rangos de movimientos cervicales y en la propiocepción cervical<sup>(57)</sup>.

Aunque tenemos pruebas limitadas para demostrar los efectos hipoalérgicos y motores de las técnicas de representación del movimiento mediante ejercicios cervicales, todavía no se sabe si estas modalidades son mejores que el uso de ejercicios para la región cervical, que ha demostrado sólidos efectos hipoalérgicos sobre el dolor y la coordinación neuromuscular<sup>(58-60)</sup>. Por lo tanto, es importante comparar si el ejercicio en la región cervical produce mayores cambios a nivel somatosensorial y sensorial que las técnicas de representación del movimiento.

En un estudio que hemos realizado recientemente en el que hemos intentado comprobar los efectos del ejercicio cervical en la modulación del dolor condicionado y los umbrales de dolor a la presión, utilizando la IM y la AO, implícitos en las acciones del ejercicio cervical<sup>(61)</sup>; con un segundo objetivo: evaluar los efectos de estas intervenciones en la actividad motora cervical (rangos de movimiento y resistencia muscular), la atención y la capacidad de generar imágenes motora, encontramos que los pacientes sometidos tanto a ejercicio activo, como a las técnicas de representación de imagen obtuvieron las mismas mejoras en la modulación condicionada del dolor; así como, en la hiperalgesia mecánica. Esto significa que, cuando tengamos a un paciente con dolor severo y no sea posible comenzar con tratamientos pasivos o activos dirigidos al cuello, se podría utilizar perfectamente este otro tipo de abordaje para comenzar a mejorar el procesamiento del dolor.

En otro estudio anterior<sup>(62)</sup>, encontramos que cuando los pacientes con dolor de cuello visualizan un video durante 10 minutos con movimientos de cuello mal realizados o con limitaciones, presentan una hiperalgesia mecánica postintervención y, en cambio, cuando visualizan un video con los movimientos realizados en un rango de movimiento con amplitud normal se produce una hipoalgesia mecánica, así como, una mejora del rango de movimiento.

## Referencias bibliográficas

1. Bot SDM, Van Der Waal JM, Terwee CE, Van Der Windt DAWM, Schellevis FG, Bouter LM and Dekker J. Incidence and prevalence of complaints of the neck and upper extremity in general practice. *Ann Rheum Dis*. 2005.
2. Jordan KP, Kadam UT, Hayward R, Porcheret M, Young C and Croft P. Annual consultation prevalence of regional musculoskeletal problems in primary care: An observational study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2010.
3. James SL, Abate D, Abate KH, Abay SM, Abbafati C, Abbasi N, Abbastabar H, Abd-Allah F, Abdela J, Abdelalim A et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 Diseases and Injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018.
4. Liu R, Kurihara C, Tsai HT, Silvestri PJ, Bennett MI, Pasquina PF and Cohen SP. Classification and treatment of chronic Neck pain: A longitudinal cohort study. *Reg Anesth Pain Med*. 2017.
5. Hoy DG, Protani M, De R and Buchbinder R. The epidemiology of neck pain. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2010;24:783-792.
6. Kim JY and Kwag K II. Clinical effects of deep cervical flexor muscle activation in patients with chronic neck pain. *J Phys Ther Sci*. 2016.
7. Jull GA, O'Leary SP and Falla DL. Clinical assessment of the deep cervical flexor muscles: the craniocervical flexion test. *J Manipulative Physiol Ther*. 2008;31:525-33.
8. Gallego Izquierdo T, Pecos-Martin D, Lluch Gírbés E, Plaza-Manzano G, Rodríguez Caldentey R, Mayor Melús R, Blanco Mariscal D and Falla D. Comparison of craniocervical flexion training versus cervical proprioception training in patients with chronic neck pain: A randomized controlled clinical trial. *J Rehabil Med*. 2016.
9. Bahat HS, Weiss P and Sprecher E. Do neck kinematics correlate with pain intensity, neck disability or with fear of motion? *Man Ther*. 2014;19:252-258.
10. Nederhand MJ, Ijzerman MJ, Hermens HJ, Turk DC and Zilvold G. Predictive value of fear avoidance in developing chronic neck pain disability: Consequences for clinical decision making. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004.
11. Hudes K. The Tampa Scale of Kinesiophobia and neck pain, disability and range of motion: a narrative review of the literature. *J Can Chiropr Assoc*. 2011;55:222-32.
12. López-De-Uralde-Villanueva I, Notario-Pérez R, Del Corral T, Ramos-Díaz B, Acuyo-Osorio M and La Touche R. Functional limitations and associated psychological factors in military personnel with chronic nonspecific neck pain with higher levels of kinesiophobia. *Work*. 2017;58:287-297.
13. Muñoz-García D, Gil-Martínez A, López-López A, López-de-Uralde-Villanueva I, La Touche R and Fernández-Carnero J. Chronic Neck Pain and Cervico-Craniofacial Pain Patients Express Similar Levels of Neck Pain-Related Disability, Pain Catastrophizing, and Cervical Range of Motion. *Pain Res Treat*. 2016;2016:7296032.
14. Lopez-de-Uralde-Villanueva I, Beltran-Alacreu H, Fernandez-Carnero J, Kindelan-Calvo P and La Touche R. Widespread Pressure Pain Hyperalgesia in Chronic Nonspecific Neck Pain with Neuropathic Features: A Descriptive Cross-Sectional Study. *Pain Physician*. 2016;19:77-88.

15. Muñoz-García D, López-de-Uralde-Villanueva I, Beltran-Alacreu H, La Touche R and Fernández-Carnero J. Patients with concomitant chronic neck pain and myofascial pain in masticatory muscles have more widespread pain and distal hyperalgesia than patients with only chronic neck pain. *Pain Med (United States)*. 2017;18.
16. Piña-Pozo F, Heredia-Rizo AM, Madeleine P, Escobio-Prieto I, Luque-Carrasco A and Oliva-Pascual-Vaca Á. Local and Widespread Pressure Pain Hyperalgesia Is Not Side Specific in Females with Unilateral Neck Pain that Can Be Reproduced during Passive Neck Rotation. *J Clin Med*. 2019;8:1246.
17. Wilhelm M, Donaldson M, Griswold D, Learman K, Garcia A, Learman S and Cleland JA. The Effects of Exercise Dosage on Neck-Related Pain and Disability: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2020;50:607–621.
18. Garrett B, Taverner T, Masinde W, Gromala D, Shaw C and Negraeff M. A rapid evidence assessment of immersive virtual reality as an adjunct therapy in acute pain management in clinical practice. *Clin J Pain*. 2014.
19. Sharar SR, Miller W, Teeley A, Soltani M, Hoffman HG, Jensen MP and Patterson DR. Applications of virtual reality for pain management in burn-injured patients. *Expert Rev Neurother*. 2008.
20. Sarig Bahat H, Takasaki H, Chen X, Bet-Or Y and Treleaven J. Cervical kinematic training with and without interactive VR training for chronic neck pain - a randomized clinical trial. *Man Ther*. 2015;20:68–78.
21. Sarig Bahat H, Croft K, Carter C, Hodinott A, Sprecher E and Treleaven J. Remote kinematic training for patients with chronic neck pain: a randomised controlled trial. *Eur Spine J*. 2018;27:1309–1323.
22. Matheve T, Bogaerts K and Timmermans A. Virtual reality distraction induces hypoalgesia in patients with chronic low back pain: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2020;17.
23. Gumaa M and Youssef AR. Is Virtual Reality Effective in Orthopedic Rehabilitation? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Phys Ther*. 2019;99:1304–1325.
24. Colloca L, Raghuraman N, Wang Y, Akintola T, Brawn-Cinani B, Colloca G, Kier C, Varshney A and Murthi S. Virtual reality: physiological and behavioral mechanisms to increase individual pain tolerance limits. *Pain*. 2020.
25. Miyahira SD, Folen RA, Hoffman HG, Garcia-Palacios A, Spira JL and Kawasaki M. The effectiveness of VR exposure therapy for PTSD in returning warfighters. *Annu Rev CyberTherapy Telemed*. 2012.
26. Hoffman HG, Richards TL, Coda B, Bills AR, Blough D, Richards AL and Sharar SR. Modulation of thermal pain-related brain activity with virtual reality: Evidence from fMRI. *Neuroreport*. 2004.
27. Li A, Montañó Z, Chen VJ and Gold JI. Virtual reality and pain management: current trends and future directions. *Pain Manag*. 2011.
28. Scapin S, Echevarría-Guanilo ME, Boeira Fuculo Junior PR, Gonçalves N, Rocha PK and Coimbra R. Virtual Reality in the treatment of burn patients: A systematic review. *Burns*. 2018.
29. Wiederhold BK, Soomro A, Riva G and Wiederhold MD. Future directions: Advances and implications of virtual environments designed for pain management. *Cyberpsychology, Behav Soc Netw*. 2014.
30. Loreto-Quijada D, Gutiérrez-Maldonado J, Nieto R, Gutiérrez-Martínez O, Ferrer-García M, Saldaña C, Fusté-Escolano A and Liutsko L. Differential effects of two virtual reality interventions: Distraction versus pain control. *Cyberpsychology, Behav Soc Netw*. 2014.
31. Gold JI, Belmont KA and Thomas DA. The neurobiology of virtual reality pain attenuation. *Cyberpsychology Behav*. 2007.
32. Keefe FJ, Huling DA, Coggins MJ, Keefe DF, Zachary Rosenthal M, Herr NR and Hoffman HG. Virtual reality for persistent pain: A new direction for behavioral pain management. *Pain*. 2012.
33. Spiegel B, Fuller G, Lopez M, Dupuy T, Noah B, Howard A, Albert M, Tashjian V, Lam R, Ahn J et al. Virtual reality for management of pain in hospitalized patients: A randomized comparative effectiveness trial. *PLoS One*. 2019.
34. Wittkopf PG, Lloyd DM, Coe O, Yacobali S and Billington J. The effect of interactive virtual reality on pain perception: a systematic review of clinical studies. *Disabil Rehabil*. 2020.
35. Ahern MM, Dean LV, Stoddard CC, Agrawal A, Kim K, Cook CE and Narciso Garcia A. The Effectiveness of Virtual Reality in Patients With Spinal Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pain Pract*. 2020;paper. 12885.
36. Tejera DM, Beltran-Alacreu H, Cano-De-la-cuerda R, Hernández JVL, Martín-Pintado-zugasti A, Calvo-Lobo C, Gil-Martínez A and Fernández-Carnero J. Effects of virtual reality versus exercise on pain, functional, somatosensory and psychosocial outcomes in patients with non-specific chronic neck pain: A randomized clinical trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2020.
37. Hayashi K, Aono S, Shiro Y and Ushida T. Effects of Virtual Reality-Based Exercise Imagery on Pain in Healthy Individuals. *Biomed Res Int*. 2019;2019:5021914.
38. Thieme H, Morkisch N, Rietz C, Dohle C and Borgetto B. The efficacy of movement representation techniques for treatment of limb pain - A systematic review and meta-analysis. *J Pain*. 2016;17:167–180.
39. Yap BW Da and Lim ECW. The Effects of Motor Imagery on Pain and Range of Motion in Musculoskeletal Disorders. *Clin J Pain*. 2019;35:87–99.
40. Paravlic AH, Slimani M, Tod D, Marusic U, Milanovic Z and Pisot R. Effects and Dose-Response Relationships of Motor Imagery Practice on Strength Development in Healthy Adult Populations: a Systematic Review and Meta-analysis. *Sport Med*. 2018;48:1165–1187.
41. Buccino G. Action observation treatment: a novel tool in neurorehabilitation. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2014;369:20130185–20130185.
42. Decety J. The neurophysiological basis of motor imagery. *Behav Brain Res*. 1996.
43. Lotze M, Montoya P, Erb M, Hülsmann E, Flor H, Klose U, Birbaumer N and Grodd W. Activation of Cortical and Cerebellar Motor Areas during Executed and Imagined Hand Movements: An fMRI Study. *J Cogn Neurosci*. 1999;11:491–501.
44. Wright DJ, Williams J and Holmes PS. Combined action observation and imagery facilitates corticospinal excitability. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:951.
45. Prochnow D, Bermúdez i Badia S, Schmidt J, Duff A, Brunheim S, Kleiser R, Seitz RJ and Verschure PFMJ. A functional magnetic resonance imaging study of visuomotor processing in a virtual reality-based paradigm: Rehabilitation Gaming System. *Eur J Neurosci*. 2013.
46. Sale P and Franceschini M. Action observation and mirror neuron network: A tool for motor stroke rehabilitation. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2012.
47. Villiger M, Estévez N, Hepp-Reymond MC, Kiper D, Kollias SS, Eng K and Hotz-Boendermaker S. Enhanced Activation of Motor Execution Networks Using Action Observation Combined with Imagination of Lower Limb Movements. *PLoS One*. 2013.

48. Roosink M and Zijdwind I. Corticospinal excitability during observation and imagery of simple and complex hand tasks: Implications for motor rehabilitation. *Behav Brain Res.* 2010.
49. Stefan K, Classen J, Celnik P and Cohen LG. Concurrent action observation modulates practice-induced motor memory formation. *Eur J Neurosci.* 2008.
50. Hodges N, Williams AM, Hayes S and Breslin G. What is modelled during observational learning? *J Sports Sci.* 2007.
51. Ray M, Dewey D, Kooistra L and Welsh TN. The relationship between the motor system activation during action observation and adaptation in the motor system following repeated action observation. *Hum Mov Sci.* 2013.
52. Beinert K, Sofsky M and Trojan J. Train the brain! Immediate sensorimotor effects of mentally-performed flexor exercises in patients with neck pain. A pilot study. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2019;55:63–70.
53. Suso-Martí L, León-Hernández JV, La Touche R, Paris-Aleman A and Cuenca-Martínez F. Motor Imagery and Action Observation of Specific Neck Therapeutic Exercises Induced Hypoalgesia in Patients with Chronic Neck Pain: A Randomized Single-Blind Placebo Trial. *J Clin Med.* 2019;8:1019.
54. de-la-Puente-Ranea L, García-Calvo B, La Touche R, Fernández-Carnero J and Gil-Martínez A. Influence of the actions observed on cervical motion in patients with chronic neck pain: a pilot study. *J Exerc Rehabil.* 2016;12:346–354.
55. Hidalgo-Peréz A, Fernández-García Á, López-de-Uralde-Villanueva I, Gil-Martínez A, Paris-Aleman A, Fernández-Carnero J and La Touche R. EFFECTIVENESS OF A MOTOR CONTROL THERAPEUTIC EXERCISE PROGRAM COMBINED WITH MOTOR IMAGERY ON THE SENSORIMOTOR FUNCTION OF THE CERVICAL SPINE: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL. *Int J Sports Phys Ther.* 2015;10:877–92.
56. Cuenca-Martínez F, Touche R La, León-Hernández JV and Suso-Martí L. Mental practice in isolation improves cervical joint position sense in patients with chronic neck pain: A randomized single-blind placebo trial. *PeerJ.* 2019;2019.
57. León-Hernández JV, Marcos-Lorenzo D, Morales-Tejera D, Cuenca-Martínez F, La Touche R and Suso-Martí L. Effect of laterality discrimination on joint position sense and cervical range of motion in patients with chronic neck pain: a randomized single-blind clinical trial. *Somatosens Mot Res.* 2019;36:136–143.
58. Martín-Gómez C, Sestelo-Díaz R, Carrillo-Sanjuan V, Navarro-Santana MJ, Bardon-Romero J and Plaza-Manzano G. Motor control using crano-cervical flexion exercises versus other treatments for non-specific chronic neck pain: A systematic review and meta-analysis. *Musculoskelet Sci Pract.* 2019;42:52–59.
59. O'Leary S, Falla D, Hodges PW, Jull G and Vicenzino B. Specific therapeutic exercise of the neck induces immediate local hypoalgesia. *J Pain.* 2007;8:832–9.
60. Blomgren J, Strandell E, Jull G, Vikman I and Røijezon U. Effects of deep cervical flexor training on impaired physiological functions associated with chronic neck pain: A systematic review. *Medical and Health Sciences / BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19.
61. Morales Tejera D, Fernandez-Carnero J, Suso-Martí L, Cano-de-la-Cuerda R, Lerín-Calvo A, Remón-Ramiro L and La Touche R. Comparative study of observed actions, motor imagery and control therapeutic

exercise on the conditioned pain modulation in the cervical spine: a randomized controlled trial. *Somatosens Mot Res.* 2020.

62. de-la-Puente-Ranea L, García-Calvo B, La Touche R, Fernández-Carnero J and Gil-Martínez A. Influence of the actions observed on cervical motion in patients with chronic neck pain: a pilot study. *J Exerc Rehabil.* 2016.

# New technological approaches to the physiotherapy treatment of patients with persistent pain

**Jan Dommerholt**

PT, DPT. Bethesda Physiocare Myopain Seminars - Bethesda, MD, USA.

## Introduction

Patients with persistent pain are among the most challenging for healthcare providers. Often, physiotherapists offer a combination of treatments to reduce patients' pain experiences, including manual therapy and exercise<sup>(1)</sup>, myofascial therapy<sup>(2)</sup>, electrotherapy<sup>(3)</sup>, such as transcutaneous electrical nerve stimulation<sup>(4,5)</sup>, laser<sup>(6)</sup>, other modalities<sup>(7)</sup>, or dry needling<sup>(8)</sup>, among others. Unfortunately, the evidence does not necessarily support combination therapies<sup>(9-12)</sup>. Nevertheless, there is general agreement that exercise should be a key component of any chronic pain therapy program<sup>(13-15)</sup>, but how to implement effective exercise programs is an ongoing dilemma. Many exercise programs are boring, and patients may not consider the exercises to be exciting, fun, or challenging, and even more problematic, patients may feel that the exercises are not very functional or address their problem. Compliance and adherence with home exercises is often very poor with over 70% of patients not following through<sup>(16,17)</sup>. There may be as many as 200 factors that need to be considered<sup>(17)</sup>.

Exercise programs aim to reduce pain, improve neuromuscular control, enhance specific and general muscle activity, and improve overall function<sup>(9,18)</sup>, however, many patients with persistent pain do not respond well to the kind of exercises typically employed in physiotherapy, possibly because in this patient population, exercise often has little or no effect or may even increase the pain experience by activating descending facilitatory mechanisms<sup>(19-23)</sup>. It is also plausible that exercise programs trigger an already dysfunctional exercise-induced hypoalgesia (EIH) response<sup>(24)</sup>. In healthy subjects, exercise triggers EIH<sup>(25,26)</sup>, but in clinical pain populations, the reliability of the EIH response is poor<sup>(24)</sup>. Rice et al. hypothesized that impaired EIH may be more common in persons with augmented central nociceptive processing, but it is not entirely clear what mechanisms contribute to impaired EIH in chronic pain populations<sup>(27)</sup>. Dysfunctions of the immune system<sup>(28)</sup>, the endocannabinoid system<sup>(29,30)</sup>, and the autonomic nervous system<sup>(31)</sup> have been implicated. Gender and psychological factors do not appear to be strongly linked to impaired EIH<sup>(32,33)</sup>. Conversely, kinesiophobia and pain catastrophizing may be important<sup>(34-37)</sup> especially in altering a person's pain intensity, but they appear to have little influence on EIH in patients with chronic musculoskeletal pain<sup>(38)</sup>. In general, pain catastrophizing is a strong predictor of poor outcomes in individuals with pain<sup>(39)</sup>.

A decrease in the pain threshold following exercise and a subsequent increase in the pain experience will likely impede the patient's motivation and enthusiasm in partaking in exercise programs, furthering physical deconditioning, depression, and poor self-efficacy<sup>(40)</sup>. This creates a challenge for clinicians, who are expected to develop appropriate exercise programs without having reliable and objective parameters<sup>(20,41)</sup>. Exercise programs should stimulate the patients' motivation, which can be challenging because of the inherent repetitiveness and boring nature of many exercises<sup>(42)</sup>. While it may seem obvious to base the level of exercise programs for chronic pain patients on their fitness levels, research has shown that this strategy may actually be counterproductive<sup>(43)</sup>. The question then arises how to optimally incorporate fun, functional, and effective exercises into the physiotherapy treatment of individuals with persistent pain. To find the answer to this question, we need to explore several lines of research.

## Technology-supported exercise therapy

There is evidence that technology-supported exercise therapy can improve pain, disability, and quality of life for patients with low back pain, especially when combined with more standard treatments<sup>(44)</sup>. In a recent systematic review, the most common technology used was electromyography biofeedback<sup>(44)</sup>. Probably more relevant in the context of this conference is the use of exergaming technology<sup>(45)</sup> particularly *external-focus* exergaming. To use external-focus exercises, it is not necessary to use technology, but technological advances make it much more fun and allow physiotherapists to closely monitor progress. External-focus exercise can be done with a few balloons, strings, balls, etc., which are valid methods, but after a while, these can become boring as well and they lack standardization and reporting capabilities.

## External-focus exercise therapy approach

External-focus exercise by itself is not a new concept in physiotherapy and is commonly used within pediatric and neurologic physiotherapy, even though pediatric and neurologic therapists may not necessarily be aware of its scientific basis and framework. In the context of pain management programs, very few clinicians use an intentional external focus of attention as part of a comprehensive treatment plan. Where an internal-focus approach is directed at the patient's own body movements reflected in the directions the therapist will give to the patient, i.e., "place your right foot here, bend your knee and turn your trunk to the left," which is body-focused language, an external-focus approach is always directed at the effects that a patient's movements will have on the immediate environment. With an external focus, patients may be instructed to stand on an unstable surface, while hitting flashing lights with a stick. From the patient's point of view, the objective is to hit as many lights as possible within a certain time limit. The therapist's objective, however, may be improving trunk stabilization, upper extremity strengthening, and reducing kinesiophobia. The instructions to the patient do not include any body-focused language but are directed exclusively at

the target. Perhaps perplexing, seemingly minor differences in instructions can make enormous differences in the patient's learning potential. Avoiding any "body language" has consistently resulted in greater improvements in motor performance, i.e., instead of using "your feet" consider saying "your shoes"; instead of "doing a pelvic tilt" consider something like "move your belt buckle"<sup>(46)</sup>. There is much evidence that adopting such an external focus facilitates unconscious and reflexive processes, which allows patients to gain control over their movement patterns and motor planning, and at the same time come to realize that they were able to move and complete a variety of tasks without an exacerbation of pain. While the patient may experience exercise as a fun and exciting activity, the desired results are more or less achieved without conscious awareness<sup>(47,48)</sup>. It is conceivable that external-focus exercise may trigger EI, but there are no studies to support or refute this notion.

Target-focused therapy appears to improve patient compliance<sup>(49)</sup> and has many other benefits. In contrast to a cognition-targeted approach, patients are not asked to confront their own fears, as this strategy constitutes an internal focus approach. Instead, through participating in a wide variety of challenging activities with an external focus, patients will quickly realize that their functional capacity is far beyond their expectations without experiencing pain with movement and without having to assume an introspective, internal-focus position<sup>(50)</sup>. Lohse et al. maintained that an internal-focus approach may actually hinder learning new motor skills compared to an external-focus approach, which does not only improve motor performance, but could also improve learning in general<sup>(51)</sup>. An external-focus approach increases the automaticity of motor control without having to confront patients with their internalized fears<sup>(52,53)</sup>.

### The scientific background of external focus therapy

After more than twenty years of research in external-focus exercise and attentional learning, in 2016, Wulf and Lewthwaite defined the OPTIMAL Theory of Motor, where OPTIMAL is an acronym for Optimizing Performance Through Intrinsic Motivation and Attention for Learning<sup>(54)</sup>. The newly defined motor learning theory includes the essential features of an external-focus exercise approach, incorporates the social-cognitive-affective-motor nature of "motor" behavior, and recognizes that motivation, attention, motor performance, and motor learning are intrinsically associated with each other<sup>(55)</sup>. Motivational factors are an important aspect of the OPTIMAL theory and by default, of external-focus exercise.

As with all physiotherapy interventions, patients are more likely to experience a positive outcome when they believe that a particular intervention, in this case an exercise approach, will indeed lead to a positive outcome. Enhanced expectancies and success in executing certain movement skills facilitate future motor skill learning, more success, and learning<sup>(56-58)</sup>. Interestingly, enhanced expectancies will also suppress less relevant cues and heighten the patient's attention to task-relevant cues<sup>(58)</sup>. To create motivational factors that will enhance positive outcomes, clinicians should administer placebos intentionally<sup>(59)</sup> and foster self-efficacy<sup>(60)</sup>. Placebos are true biopsychosocial

treatment options, that can generate an enhanced therapeutic meaning response<sup>(61)</sup>. Higher levels of self-efficacy are associated with improved physical functioning, physical activity participation, health status, and lower levels of pain intensity and disability, disease activity, depression, fatigue, and presence of tender points, among others<sup>(62)</sup>.

Successful completion of motor tasks improves patients' self-efficacy and is predictive of their subsequent mastery of new motor tasks<sup>(63)</sup>. Such enhanced expectations can influence the anticipation and experience of pain significantly and improve movement efficiency<sup>(57,64,65)</sup>. Creating a therapeutic environment with an expectation of pain reduction combined with an increased sense of self-efficacy allows patients to dissociate the pain experience and intensity from the activity<sup>(66-69)</sup>. Besides, pain does not necessarily have to be a negative emotional experience. Following the realization that a higher pain tolerance may improve a patient's impairment, pain can actually become a reward system and patients may experience an enhanced pain tolerance<sup>(70)</sup>. Within a therapeutic context, a moderate pain experience can even be interpreted as pleasant and useful with an adjustment of sympathetic and brain activity<sup>(71)</sup>.

Giving patients control over certain aspects of their physiotherapy exercise program may positively influence optimal motor skill learning and increase their attitudes towards physical activity, a positive exercise experience, and exercise intentions<sup>(72)</sup>. Soliciting the input from patients in deciding what to work on, or which exercises to do, or even which color ball to use for a certain activity, may make a significant difference in their learning experience and movement efficiency<sup>(72,73)</sup>. When golfers could select their favorite color golf ball for a putting exercise, their motor learning skills improved compared to golfers who were giving a random color ball by their instructor<sup>(73)</sup>. Similarly, in kickboxing practice, students delivered faster and harder punches when they had a choice of which type of punch to work on<sup>(74)</sup>.

Physiotherapists should consider taking a less authoritarian approach and rather than telling patients what exercise to do next with a predetermined number of sets and repetitions, valuing the patient's opinions, autonomy, and choices may go a long way against the background of the clinician's expertise in motor learning and motor control. The instructional language by a physiotherapist should always be autonomy-supportive and not controlling<sup>(54,75)</sup>. As exercise programs focusing on muscle control are more effective on function and pain levels than, for example, stretching programs, the patient should be steered towards motor control activities<sup>(76)</sup>. The patient's intrinsic motivation is enhanced when the patient perceives a level of control, which has been referred to as Control Effect Motivation<sup>(77,78)</sup>. Along the same line, patients may believe that a certain piece of equipment, such as a large ball, a stick, or an assistive device will enhance their performance<sup>(79)</sup>. Golfers made to believe that a certain putter had belonged to a well-known golfer, performed more accurately<sup>(80)</sup>. In a balance study, participants performed better when they were allowed to select their balance pole, even when the use of a pole had no advantage<sup>(81)</sup>. Perceived self-control may also enhance the patient's self-efficacy<sup>(82)</sup>.

## Exergaming

Although Wulf and Lewthwaite did not examine exergaming specifically in the context of external-focus exercise, exergaming offers a perfect opportunity to incorporate an external-focus approach<sup>(83)</sup>. The American College of Sports Medicine defined exergaming as “technology-driven physical activities, that require participants to be physically active or exercise in order to play the game. These games require the user to apply full body motion to participate in virtual sports, in group fitness exercise or other interactive physical activities. The concept behind exergaming takes the passion for gaming and turns what was once considered a sedentary behavior into a potentially more active and healthy activity.” Simple applications of exergaming are the Wii Fit and the Kinect<sup>(84)</sup>. Within physiotherapy practice, more sophisticated systems are available.

Although the evidence was not strong, exergaming improved the walking capacity in older adults<sup>(85)</sup>, knee proprioception in older men<sup>(86)</sup>, and posture<sup>(87)</sup>, and reduced the risk of falling<sup>(88)</sup>. It has also been applied to treat individuals with cognitive impairments<sup>(89)</sup> and depression<sup>(90)</sup>, and improve self-efficacy<sup>(91)</sup> and quality of life<sup>(92)</sup>. Exergaming was even effective in preventing deep venous thrombosis<sup>(93)</sup>. Exergaming has also been used with specific patient populations. It was an effective intervention for reducing pain and increasing health-related quality of life in patients with fibromyalgia<sup>(94)</sup>, ankylosing spondylitis<sup>(95)</sup>, Parkinson's<sup>(96,97)</sup>, cancer<sup>(98)</sup>, cardiac disease<sup>(99)</sup>.

During the past decade, several researchers and clinicians have incorporated virtual reality (VR) devices into exercise programs<sup>(83)</sup>. Exercises using VR are prime examples of an external-focus technology-supported exercise approach. Comparing VR exergaming with more traditional home exercises with patients diagnosed with subacromial impingement syndrome and scapular dyskinesis, the VR approach was found to be more effective<sup>(100)</sup>. Using VR in hand therapy reduced pain, facilitated better hand and finger movements, improved patients' motivation to perform therapeutic hand exercises, and made therapy more fun<sup>(101)</sup>. VR can also relieve postoperative pain effectively<sup>(102)</sup>, reduce acute and chronic pain<sup>(103-105)</sup>, labor pain<sup>(106)</sup>, and anxiety<sup>(107,108)</sup>, among others. The research was inconclusive regarding using VR for reducing pain and anxiety with patients with cancer undergoing medical interventions or receiving chemotherapy<sup>(109,110)</sup>. One study concluded that patients with cancer found VR therapy beneficial to manage chronic cancer pain<sup>(111)</sup>. VR is used for many other different populations, such as patients with chronic obstructive pulmonary disease<sup>(112)</sup>, autism spectrum disorders<sup>(113)</sup>, multiple sclerosis<sup>(114)</sup>, and psychiatric disorders<sup>(115)</sup>, among others. Combining VR with special omni-directional treadmills creates a physical immersion through technology in addition to the mental immersion, which enhances the virtual experience and possibly its impact<sup>(116)</sup>.

## Summary and conclusion

External-focus technology assisted exercise offers a new and viable approach to the physiotherapy management of individuals suffering from persistent pain and many other impairments. Rather than focus on patients' perceived fears and anxieties as is common in a cognition-targeted

approach, an external-focus approach emphasizes enhancing patients' expectations, relying on their need for autonomy and perceived control, and avoid an internal-focus of attention. As outlined, an external-focus approach facilitates unconscious and reflexive processes, which allow patients to gain control over their movement patterns and motor planning.

## References

1. Miller J, Gross A, D'Sylva J, et al. *Manual therapy and exercise for neck pain: A systematic review. Manual therapy* 2010 doi: 10.1016/j.math.2010.02.007 [published Online First: Epub Date].
2. Telles G, Cristovao DR, Belache FA, Santos MR, Almeida RS, Nogueira LA. *The effect of adding myofascial techniques to an exercise programme for patients with anterior knee pain. J Bodyw Mov Ther* 2016;20(4):844-50 doi: 10.1016/j.jbmt.2016.02.007 [published Online First: Epub Date].
3. Nabavi N, Mohseni Bandpei MA, Mosallanezhad Z, Rahgozar M, Jaberzadeh S. *The Effect of 2 Different Exercise Programs on Pain Intensity and Muscle Dimensions in Patients With Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial. J. Manipulative Physiol. Ther.* 2018;41(2):102-10 doi: 10.1016/j.jmpt.2017.03.011 [published Online First: Epub Date].
4. Dailey DL, Rakei BA, Vance CG, et al. *Transcutaneous electrical nerve stimulation reduces pain, fatigue and hyperalgesia while restoring central inhibition in primary fibromyalgia. Pain* 2013;154(11):2554-62 doi: 10.1016/j.pain.2013.07.043 [published Online First: Epub Date].
5. Vance CG, Chimenti RL, Dailey DL, et al. *Development of a method to maximize the transcutaneous electrical nerve stimulation intensity in women with fibromyalgia. Journal of pain research* 2018;11:2269-78 doi: 10.2147/JPR.S168297 [published Online First: Epub Date].
6. Bjerring P, Arendt-Nielsen L. *Argon laser induced single cortical responses: a new method to quantify pre-pain and pain perceptions. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 1988;51(1):43-9
7. Hausdorff J, Lemmens MA, Heck KD, et al. *Selective loss of unmyelinated nerve fibers after extracorporeal shockwave application to the musculoskeletal system. Neuroscience* 2008;155(1):138-44 doi: S0306-4522(08)00475-2 [pii] 10.1016/j.neuroscience.2008.03.062 [published Online First: Epub Date].
8. Castro-Sanchez AM, Garcia-Lopez H, Mataran-Penarrocha GA, et al. *Effects of Dry Needling on Spinal Mobility and Trigger Points in Patients with Fibromyalgia Syndrome. Pain Physician* 2017;20(2):37-52
9. Fredin K, Loras H. *Manual therapy, exercise therapy or combined treatment in the management of adult neck pain - A systematic review and meta-analysis. Musculoskelet Sci Pract* 2017;31:62-71 doi: 10.1016/j.msksp.2017.07.005 [published Online First: Epub Date].
10. Yeganeh Lari A, Okhovatian F, Naimi SS, Baghban AA. *The effect of the combination of dry needling and MET on latent trigger point upper trapezius in females. Manual therapy* 2016;21:204-9 doi: 10.1016/j.math.2015.08.004 [published Online First: Epub Date].
11. Sanchez-Romero EA, Pecos-Martin D, Calvo-Lobo C, Ochoa-Saez V, Burgos-Caballero V, Fernandez-Carnero J. *Effects of dry needling in an exercise program for older adults with knee osteoarthritis: A pilot clinical trial. Medicine (Baltimore).* 2018;97(26):e11255 doi: 10.1097/MD.00000000000011255 [published Online First: Epub Date].
12. de Miguel Valtierra L, Salom Moreno J, Fernandez-de-Las-Penas C, Cleland JA, Arias-Buria JL. *Ultrasound-Guided Application of Percutaneous Electrolysis as an Adjunct to Exercise and Manual The-*

rapy for Subacromial Pain Syndrome: A Randomized Clinical Trial. *The Journal of Pain : Official Journal of the American Pain Society* 2018;19(10):1201-10 doi: 10.1016/j.jpain.2018.04.017 [published Online First: Epub Date].

13. Macfarlane GJ, Kronisch C, Dean LE, et al. EULAR revised recommendations for the management of fibromyalgia. *Ann Rheum Dis*. 2017;76(2):318-28 doi: 10.1136/annrheumdis-2016-209724 [published Online First: Epub Date].

14. Nguyen C, Lefevre-Colau MM, Poiraudou S, Rannou F. Rehabilitation (exercise and strength training) and osteoarthritis: A critical narrative review. *Ann Phys Rehabil Med* 2016;59(3):190-95 doi: 10.1016/j.rehab.2016.02.010 [published Online First: Epub Date].

15. Gross AR, Paquin JP, Dupont G, et al. Exercises for mechanical neck disorders: A Cochrane review update. *Manual therapy* 2016;24:25-45 doi: 10.1016/j.math.2016.04.005 [published Online First: Epub Date].

16. Laustsen S, Hjortdal VE, Petersen AK. Predictors for not completing exercise-based rehabilitation following cardiac surgery. *Scand Cardiovasc J*. 2013;47(6):344-51 doi: 10.3109/14017431.2013.859295 [published Online First: Epub Date].

17. Sluijs EM, Knibbe JJ. Patient compliance with exercise: different theoretical approaches to short-term and long-term compliance. *Patient Educ Couns*. 1991;17(3):191-204

18. Hidalgo B, Hall T, Bossert J, Dugeny A, Cagnie B, Pitance L. The efficacy of manual therapy and exercise for treating non-specific neck pain: A systematic review. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation* 2017;30(6):1149-69 doi: 10.3233/BMR-169615 [published Online First: Epub Date].

19. Ge HY, Nie H, Graven-Nielsen T, Danneskiold-Samsoe B, Arendt-Nielsen L. Descending pain modulation and its interaction with peripheral sensitization following sustained isometric muscle contraction in fibromyalgia. *European Journal of Pain* 2012;16(2):196-203 doi: 10.1016/j.ejpain.2011.06.008 [published Online First: Epub Date].

20. Van Oosterwijck J, Nijs J, Meeus M, Van Loo M, Paul L. Lack of endogenous pain inhibition during exercise in people with chronic whiplash associated disorders: an experimental study. *The Journal of Pain : Official Journal of the American Pain Society* 2012;13(3):242-54 doi: 10.1016/j.jpain.2011.11.006 [published Online First: Epub Date].

21. Staud R, Robinson ME, Price DD. Isometric exercise has opposite effects on central pain mechanisms in fibromyalgia patients compared to normal controls. *Pain* 2005;118(1-2):176-84

22. Cook DB, Stegner AJ, Ellingson LD. Exercise alters pain sensitivity in Gulf War veterans with chronic musculoskeletal pain. *The Journal of Pain : Official Journal of the American Pain Society* 2010;11(8):764-72 doi: 10.1016/j.jpain.2009.11.010 [published Online First: Epub Date].

23. Knauf MT, Koltyn KF. Exercise-induced modulation of pain in adults with and without painful diabetic neuropathy. *The Journal of Pain : Official Journal of the American Pain Society* 2014;15(6):656-63 doi: 10.1016/j.jpain.2014.02.008 [published Online First: Epub Date].

24. Vaegter HB, Lyng KD, Yttereng FW, Christensen MH, Sorensen MB, Graven-Nielsen T. Exercise-Induced Hypoalgesia After Isometric Wall Squat Exercise: A Test-Retest Reliability Study. *Pain Med* 2019;20(1):129-37 doi: 10.1093/pm/pny087 [published Online First: Epub Date].

25. Hoffman MD, Shepanski MA, Ruble SB, Valic Z, Buckwalter JB, Clifford PS. Intensity and duration threshold for aerobic exercise-induced analgesia to pressure pain. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(7):1183-7

26. Vaegter HB, Handberg G, Graven-Nielsen T. Similarities between exercise-induced hypoalgesia and conditioned pain modulation in humans. *Pain* 2014;155(1):158-67 doi: 10.1016/j.jpain.2013.09.023 [published Online First: Epub Date].

27. Rice D, Nijs J, Kosek E, et al. Exercise-Induced Hypoalgesia in Pain-Free and Chronic Pain Populations: State of the Art and Future Directions. *The Journal of Pain : Official Journal of the American Pain Society* 2019;20(11):1249-66 doi: 10.1016/j.jpain.2019.03.005 [published Online First: Epub Date].

28. Light AR, White AT, Hughen RW, Light KC. Moderate exercise increases expression for sensory, adrenergic, and immune genes in chronic fatigue syndrome patients but not in normal subjects. *The Journal of Pain : Official Journal of the American Pain Society* 2009;10(10):1099-112 doi: 10.1016/j.jpain.2009.06.003 [published Online First: Epub Date].

29. Ghafouri N, Ghafouri B, Larsson B, Stensson N, Fowler CJ, Gerdle B. Palmitoylethanolamide and stearoylethanolamide levels in the interstitium of the trapezius muscle of women with chronic widespread pain and chronic neck-shoulder pain correlate with pain intensity and sensitivity. *Pain* 2013;154(9):1649-58 doi: 10.1016/j.pain.2013.05.002 [published Online First: Epub Date].

30. Watkins BA. Endocannabinoids, exercise, pain, and a path to health with aging. *Mol Aspects Med*. 2018;64:68-78 doi: 10.1016/j.mam.2018.10.001 [published Online First: Epub Date].

31. Barakat A, Vogelzangs N, Licht CM, et al. Dysregulation of the autonomic nervous system and its association with the presence and intensity of chronic widespread pain. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 2012;64(8):1209-16 doi: 10.1002/acr.21669 [published Online First: Epub Date].

32. Ickmans K, Malfliet A, De Koning M, et al. Lack of Gender and Age Differences in Pain Measurements Following Exercise in People with Chronic Whiplash-Associated Disorders. *Pain Physician* 2017;20(6):E829-E40

33. Hoeger Bement MK, Weyer A, Hartley S, Drewek B, Harkins AL, Hunter SK. Pain perception after isometric exercise in women with fibromyalgia. *Arch Phys Med Rehabil*. 2011;92(1):89-95 doi: 10.1016/j.apmr.2010.10.006 [published Online First: Epub Date].

34. Priore LB, Azevedo FM, Pazzinatto MF, et al. Influence of kinesiophobia and pain catastrophism on objective function in women with patellofemoral pain. *Phys Ther Sport* 2019;35:116-21 doi: 10.1016/j.ptsp.2018.11.013 [published Online First: Epub Date].

35. Cotchett M, Lennecke A, Medica VG, Whittaker GA, Bonanno DR. The association between pain catastrophizing and kinesiophobia with pain and function in people with plantar heel pain. *Foot* 2017;32:8-14 doi: 10.1016/j.foot.2017.03.003 [published Online First: Epub Date].

36. Thomas EN, Pers YM, Mercier G, et al. The importance of fear, beliefs, catastrophizing and kinesiophobia in chronic low back pain rehabilitation. *Ann Phys Rehabil Med* 2010;53(1):3-14 doi: 10.1016/j.rehab.2009.11.002 [published Online First: Epub Date].

37. Coronado RA, George SZ, Devin CJ, Wegener ST, Archer KR. Pain Sensitivity and Pain Catastrophizing Are Associated With Persistent Pain and Disability After Lumbar Spine Surgery. *Arch Phys Med Rehabil*. 2015;96(10):1763-70 doi: 10.1016/j.apmr.2015.06.003 [published Online First: Epub Date].

38. Vaegter HB, Madsen AB, Handberg G, Graven-Nielsen T. Kinesiophobia is associated with pain intensity but not pain sensitivity before and after exercise: an explorative analysis. *Physiotherapy* 2018;104(2):187-93 doi: 10.1016/j.physio.2017.10.001 [published Online First: Epub Date].
39. Feinstein AB, Sturgeon JA, Darnall BD, et al. The Effect of Pain Catastrophizing on Outcomes: A Developmental Perspective Across Children, Adolescents, and Young Adults With Chronic Pain. *The Journal of Pain: Official Journal of the American Pain Society* 2017;18(2):144-54 doi: 10.1016/j.jpain.2016.10.009 [published Online First: Epub Date].
40. Jack K, McLean SM, Moffett JK, Gardiner E. Barriers to treatment adherence in physiotherapy outpatient clinics: a systematic review. *Manual therapy* 2010;15(3):220-8 doi: 10.1016/j.math.2009.12.004 [published Online First: Epub Date].
41. Daenen L, Varkey E, Kellmann M, Nijs J. Exercise, not to exercise, or how to exercise in patients with chronic pain? Applying science to practice. *Clin. J. Pain* 2015;31(2):108-14 doi: 10.1097/AJP.000000000000099 [published Online First: Epub Date].
42. Verbrugge J, Knippenberg E, Palmaers S, et al. Motion detection supported exercise therapy in musculoskeletal disorders: a systematic review. *European journal of physical and rehabilitation medicine* 2018;54(4):591-604 doi: 10.23736/S1973-9087.18.04614-2 [published Online First: Epub Date].
43. Nijs J, Kosek E, Van Oosterwijck J, Meeus M. Dysfunctional endogenous analgesia during exercise in patients with chronic pain: to exercise or not to exercise? *Pain Physician* 2012;15(3 Suppl):ES205-13
44. Matheve T, Brumagne S, Timmermans AAA. The Effectiveness of Technology-Supported Exercise Therapy for Low Back Pain: A Systematic Review. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2017;96(5):347-56 doi: 10.1097/PHM.0000000000000615 [published Online First: Epub Date].
45. Matheve T, Claes G, Olivier E, Timmermans A. Serious Gaming to Support Exercise Therapy for Patients with Chronic Nonspecific Low Back Pain: A Feasibility Study. *Games Health J* 2018;7(4):262-70 doi: 10.1089/g4h.2017.0173 [published Online First: Epub Date].
46. Liao CM, Masters RS. Analogy learning: a means to implicit motor learning. *J. Sports Sci.* 2001;19(5):307-19 doi: 10.1080/02640410152006081 [published Online First: Epub Date].
47. Wulf G, Su J. An external focus of attention enhances golf shot accuracy in beginners and experts. *Res. Q. Exerc. Sport* 2007;78(4):384-9 doi: 10.1080/02701367.2007.10599436 [published Online First: Epub Date].
48. Wulf G, Mercer J, McNevin N, Guadagnoli MA. Reciprocal influences of attentional focus on postural and suprapostural task performance. *Journal of motor behavior* 2004;36(2):189-99 doi: 10.3200/JMBR.36.2.189-199 [published Online First: Epub Date].
49. Gangatharam S. Target-focused exercise regime to improve patient compliance and range of motion in the stiff hand. *J. Hand Ther.* 2018;31(4):568-71 doi: 10.1016/j.jht.2018.07.003 [published Online First: Epub Date].
50. Badami R, Vaez Mousavi M, Wulf G, Namazizadeh M. Feedback about more accurate versus less accurate trials: differential effects on self-confidence and activation. *Res. Q. Exerc. Sport* 2012;83(2):196-203 doi: 10.1080/02701367.2012.10599850 [published Online First: Epub Date].
51. Lohse KR, Sherwood DE, Healy AF. On the advantage of an external focus of attention: a benefit to learning or performance? *Hum Mov Sci* 2014;33:120-34 doi: 10.1016/j.humov.2013.07.022 [published Online First: Epub Date].

52. Lohse KR. The influence of attention on learning and performance: pre-movement time and accuracy in an isometric force production task. *Hum Mov Sci* 2012;31(1):12-25 doi: 10.1016/j.humov.2011.06.001 [published Online First: Epub Date].
53. Totsika V, Wulf G. The influence of external and internal foci of attention on transfer to novel situations and skills. *Res. Q. Exerc. Sport* 2003;74(2):220-5 doi: 10.1080/02701367.2003.10609084 [published Online First: Epub Date].
54. Wulf G, Lewthwaite R. Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning. *Psychon Bull Rev* 2016;23(5):1382-414 doi: 10.3758/s13423-015-0999-9 [published Online First: Epub Date].
55. Lewthwaite R, Wulf G. Grand challenge for movement science and sport psychology: embracing the social-cognitive-affective-motor nature of motor behavior. *Front Psychol* 2010;1:42 doi: 10.3389/fpsyg.2010.00042 [published Online First: Epub Date].
56. Wulf G, Lewthwaite R, Cardozo P, Chiviacowsky S. Triple play: Additive contributions of enhanced expectancies, autonomy support, and external attentional focus to motor learning. *Q J Exp Psychol (Hove)* 2018;71(4):824-31 doi: 10.1080/17470218.2016.1276204 [published Online First: Epub Date].
57. Rosenqvist O, Skans ON. Confidence enhanced performance? – The causal effects of success on future performance in professional golf tournaments. *Journal of Economic Behavior & Organization* 2015;117:281–95
58. Lewthwaite R, Wulf G. Optimizing motivation and attention for motor performance and learning. *Curr Opin Psychol* 2017;16:38-42 doi: 10.1016/j.copsyc.2017.04.005 [published Online First: Epub Date].
59. Gaab J. The placebo and its effects: A psychoneuroendocrinological perspective. *Psychoneuroendocrinology* 2019;105:3-8 doi: 10.1016/j.psyneuen.2018.08.008 [published Online First: Epub Date].
60. Bandura A, O'Leary A, Taylor CB, Gauthier J, Gossard D. Perceived self-efficacy and pain control: opioid and nonopioid mechanisms. *J. Pers. Soc. Psychol.* 1987;53(3):563-71
61. Moerman DE, Jonas WB. Deconstructing the placebo effect and finding the meaning response. *Ann. Intern. Med.* 2002;136(6):471-6 doi: 10.7326/0003-4819-136-6-200203190-00011 [published Online First: Epub Date].
62. Martinez-Calderon J, Zamora-Campos C, Navarro-Ledesma S, Luque-Suarez A. The Role of Self-Efficacy on the Prognosis of Chronic Musculoskeletal Pain: A Systematic Review. *The Journal of Pain: Official Journal of the American Pain Society* 2018;19(1):10-34 doi: 10.1016/j.jpain.2017.08.008 [published Online First: Epub Date].
63. Pascua LA, Wulf G, Lewthwaite R. Additive benefits of external focus and enhanced performance expectancy for motor learning. *J. Sports Sci.* 2015;33(1):58-66 doi: 10.1080/02640414.2014.922693 [published Online First: Epub Date].
64. Wager TD, Rilling JK, Smith EE, et al. Placebo-induced changes in FMRI in the anticipation and experience of pain. *Science* 2004;303(5661):1162-7
65. Stoate I, Wulf G, Lewthwaite R. Enhanced expectancies improve movement efficiency in runners. *J. Sports Sci.* 2012;30(8):815-23 doi: 10.1080/02640414.2012.671533 [published Online First: Epub Date].
66. Bandura A. Self-efficacy mechanism in physiological activation and health-promoting behavior. In: Madden JI, Matthisse S, Barchas S, eds. *Adaptation, learning and affect*. New York: Raven Press, 1986.

67. Legrain V, Crombez G, Mouraux A. Controlling attention to nociceptive stimuli with working memory. *PLoS one* 2011;6(6):e20926 doi: 10.1371/journal.pone.0020926 [published Online First: Epub Date].
68. Legrain V, Iannetti GD, Plaghki L, Mouraux A. The pain matrix reloaded: a salience detection system for the body. *Prog. Neurobiol.* 2011;93(1):111-24 doi: 10.1016/j.pneurobio.2010.10.005 [published Online First: Epub Date].
69. Mueller M, Bjorkedal E, Kamping S. Manipulation of expectancy and anxiety in placebo research and their effects on opioid-induced analgesia. *J. Neurosci.* 2012;32(41):14051-2 doi: 10.1523/JNEUROSCI.3756-12.2012 [published Online First: Epub Date].
70. Benedetti F, Thoen W, Blanchard C, Vighetti S, Arduino C. Pain as a reward: changing the meaning of pain from negative to positive co-activates opioid and cannabinoid systems. *Pain* 2013;154(3):361-7 doi: 10.1016/j.pain.2012.11.007 [published Online First: Epub Date].
71. Leknes S, Berna C, Lee MC, Snyder GD, Biele G, Tracey I. The importance of context: when relative relief renders pain pleasant. *Pain* 2013;154(3):402-10 doi: 10.1016/j.pain.2012.11.018 [published Online First: Epub Date].
72. Caplandies FC, JA B, Murray AB, Rose JP, Geers AL. Choice and perceptions of exercise: A test of three moderating variables. *Psychology of Sport and Exercise* 2018;38:47-55
73. Lewthwaite R, Chiviacowsky S, Drews R, Wulf G. Choose to move: The motivational impact of autonomy support on motor learning. *Psychon Bull Rev* 2015;22(5):1383-8 doi: 10.3758/s13423-015-0814-7 [published Online First: Epub Date].
74. Halperin I, Chapman DW, Martin DT, Lewthwaite R, Wulf G. Choices enhance punching performance of competitive kickboxers. *Psychol. Res.* 2017;81(5):1051-58 doi: 10.1007/s00426-016-0790-1 [published Online First: Epub Date].
75. Hooyman A, Wulf G, Lewthwaite R. Impacts of autonomy-supportive versus controlling instructional language on motor learning. *Hum Mov Sci* 2014;36:190-8 doi: 10.1016/j.humov.2014.04.005 [published Online First: Epub Date].
76. Park KN, Kwon OY, Yi CH, et al. Effects of Motor Control Exercise Vs Muscle Stretching Exercise on Reducing Compensatory Lumbopelvic Motions and Low Back Pain: A Randomized Trial. *J. Manipulative Physiol. Ther.* 2016;39(8):576-85 doi: 10.1016/j.jmpt.2016.07.006 [published Online First: Epub Date].
77. Eitam B, Kennedy PM, Tory Higgins E. Motivation from control. *Exp. Brain Res.* 2013;229(3):475-84 doi: 10.1007/s00221-012-3370-7 [published Online First: Epub Date].
78. Karsh N, Eitam B, Mark I, Higgins ET. Bootstrapping agency: How control-relevant information affects motivation. *J. Exp. Psychol. Gen.* 2016;145(10):1333-50 doi: 10.1037/xge0000212 [published Online First: Epub Date].
79. Chiviacowsky S, Wulf G, Lewthwaite R, Campos T. Motor learning benefits of self-controlled practice in persons with Parkinson's disease. *Gait Posture* 2012;35(4):601-5 doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.12.003 [published Online First: Epub Date].
80. Lee C, Linkenauger SA, Bakdash JZ, Joy-Gaba JA, Proffitt DR. Putting like a pro: the role of positive contagion in golf performance and perception. *PLoS one* 2011;6(10):e26016 doi: 10.1371/journal.pone.0026016 [published Online First: Epub Date].

81. Hartman JM. Self-controlled use of a perceived physical assistance device during a balancing task. *Percept. Mot. Skills* 2007;104:1005-16
82. Wulf G, Chiviacowsky S, Drews R. External focus and autonomy support: two important factors in motor learning have additive benefits. *Hum Mov Sci* 2015;40:176-84 doi: 10.1016/j.humov.2014.11.015 [published Online First: Epub Date].
83. Sarig Bahat H, Takasaki H, Chen X, Bet-Or Y, Treleaven J. Cervical kinematic training with and without interactive VR training for chronic neck pain - a randomized clinical trial. *Manual therapy* 2015;20(1):68-78 doi: 10.1016/j.math.2014.06.008 [published Online First: Epub Date].
84. Shih MC, Wang RY, Cheng SJ, Yang YR. Effects of a balance-based exergaming intervention using the Kinect sensor on posture stability in individuals with Parkinson's disease: a single-blinded randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* 2016;13(1):78 doi: 10.1186/s12984-016-0185-y [published Online First: Epub Date].
85. Corregidor-Sánchez AI, Segura-Fragoso A, Rodríguez-Hernández M, Criado-Alvarez JJ, González-González J, Polonio-López B. Can exergames contribute to improving walking capacity in older adults? A systematic review and meta-analysis. *Maturitas* 2020;132:40-48 doi: 10.1016/j.maturitas.2019.12.006 [published Online First: Epub Date].
86. Sadeghi H, Hakim MN, Hamid TA, et al. The effect of exergaming on knee proprioception in older men: A randomized controlled trial. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 2017;69:144-50 doi: 10.1016/j.archger.2016.11.009 [published Online First: Epub Date].
87. Tahmosybayat R, Baker K, Godfrey A, Caplan N, Barry G. A systematic review and meta-analysis of outcome measures to assess postural control in older adults who undertake exergaming. *Maturitas* 2017;98:35-45 doi: 10.1016/j.maturitas.2017.02.003 [published Online First: Epub Date].
88. Fu AS, Gao KL, Tung AK, Tsang WW, Kwan MM. Effectiveness of Exergaming Training in Reducing Risk and Incidence of Falls in Frail Older Adults With a History of Falls. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2015;96(12):2096-102 doi: 10.1016/j.apmr.2015.08.427 [published Online First: Epub Date].
89. Anderson-Hanley C, Arciero PJ, Brickman AM, et al. Exergaming and older adult cognition: a cluster randomized clinical trial. *Am. J. Prev. Med.* 2012;42(2):109-19 doi: 10.1016/j.amepre.2011.10.016 [published Online First: Epub Date].
90. Rosenberg D, Depp CA, Vahia IV, et al. Exergames for subsyndromal depression in older adults: a pilot study of a novel intervention. *Am. J. Geriatr. Psychiatry* 2010;18(3):221-6 doi: 10.1097/JGP.0b013e3181c534b5 [published Online First: Epub Date].
91. Dos Santos H, Bredehoft MD, Gonzalez FM, Montgomery S. Exercise Video Games and Exercise Self-Efficacy in Children. *Glob Pediatr Health* 2016;3:2333794x16644139 doi: 10.1177/2333794x16644139 [published Online First: Epub Date].
92. Skjæret N, Nawaz A, Morat T, Schoene D, Helbostad JL, Vereijken B. Exercise and rehabilitation delivered through exergames in older adults: An integrative review of technologies, safety and efficacy. *Int J Med Inform* 2016;85(1):1-16 doi: 10.1016/j.ijmedinf.2015.10.008 [published Online First: Epub Date].
93. Rahemi H, Chung J, Hinko V, et al. Pilot study evaluating the efficacy of exergaming for the prevention of deep venous thrombosis. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord* 2018;6(2):146-53 doi: 10.1016/j.jvs.2017.08.019 [published Online First: Epub Date].

94. Collado-Mateo D, Dominguez-Muñoz FJ, Adsuar JC, Garcia-Gordillo MA, Gusi N. Effects of Exergames on Quality of Life, Pain, and Disease Effect in Women With Fibromyalgia: A Randomized Controlled Trial. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2017;98(9):1725-31 doi: 10.1016/j.apmr.2017.02.011 [published Online First: Epub Date].
95. Karahan AY, Tok F, Yildirim P, Ordahan B, Turkoglu G, Sahin N. The Effectiveness of Exergames in Patients with Ankylosing Spondylitis: A Randomized Controlled Trial. *Adv Clin Exp Med* 2016;25(5):931-36 doi: 10.17219/acem/32590 [published Online First: Epub Date].
96. Ribas CG, Alves da Silva L, Corrêa MR, Teive HG, Valderramas S. Effectiveness of exergaming in improving functional balance, fatigue and quality of life in Parkinson's disease: A pilot randomized controlled trial. *Parkinsonism Relat Disord* 2017;38:13-18 doi: 10.1016/j.parkreldis.2017.02.006 [published Online First: Epub Date].
97. Barry G, Galna B, Rochester L. The role of exergaming in Parkinson's disease rehabilitation: a systematic review of the evidence. *J Neuroeng Rehabil* 2014;11:33 doi: 10.1186/1743-0003-11-33 [published Online First: Epub Date].
98. Tough D, Robinson J, Gowling S, Raby P, Dixon J, Harrison SL. The feasibility, acceptability and outcomes of exergaming among individuals with cancer: a systematic review. *BMC Cancer* 2018;18(1):1151 doi: 10.1186/s12885-018-5068-0 [published Online First: Epub Date].
99. Klompstra L, Jaarsma T, Strömberg A. Exergaming to increase the exercise capacity and daily physical activity in heart failure patients: a pilot study. *BMC Geriatr* 2014;14:119 doi: 10.1186/1471-2318-14-119 [published Online First: Epub Date].
100. Pekyavas NO, Ergun N. Comparison of virtual reality exergaming and home exercise programs in patients with subacromial impingement syndrome and scapular dyskinesis: Short term effect. *Acta orthopaedica et traumatologica turcica* 2017;51(3):238-42 doi: 10.1016/j.aott.2017.03.008 [published Online First: Epub Date].
101. Hoffman HG, Boe DA, Rombokas E, et al. Virtual reality hand therapy: A new tool for nonopioid analgesia for acute procedural pain, hand rehabilitation, and VR embodiment therapy for phantom limb pain. *J. Hand Ther.* 2020;33(2):254-62 doi: 10.1016/j.jht.2020.04.001 [published Online First: Epub Date].
102. Ding L, Hua H, Zhu H, et al. Effects of virtual reality on relieving postoperative pain in surgical patients: A systematic review and meta-analysis. *International journal of surgery* 2020;82:87-94 doi: 10.1016/j.ijsu.2020.08.033 [published Online First: Epub Date].
103. Indovina P, Barone D, Gallo L, Chirico A, De Pietro G, Giordano A. Virtual Reality as a Distraction Intervention to Relieve Pain and Distress During Medical Procedures: A Comprehensive Literature Review. *Clin. J. Pain* 2018;34(9):858-77 doi: 10.1097/AJP.0000000000000599 [published Online First: Epub Date].
104. Pourmand A, Davis S, Lee D, Barber S, Sikka N. Emerging Utility of Virtual Reality as a Multidisciplinary Tool in Clinical Medicine. *Games Health J* 2017;6(5):263-70 doi: 10.1089/g4h.2017.0046 [published Online First: Epub Date].
105. Pourmand A, Davis S, Marchak A, Whiteside T, Sikka N. Virtual Reality as a Clinical Tool for Pain Management. *Curr Pain Headache Rep* 2018;22(8):53 doi: 10.1007/s11916-018-0708-2 [published Online First: Epub Date].

106. Frey DP, Bauer ME, Bell CL, et al. Virtual Reality Analgesia in Labor: The VRAIL Pilot Study-A Preliminary Randomized Controlled Trial Suggesting Benefit of Immersive Virtual Reality Analgesia in Unmedicated Laboring Women. *Anesth. Analg.* 2019;128(6):e93-e96 doi: 10.1213/ANE.0000000000003649 [published Online First: Epub Date].
107. Sikka N, Shu L, Ritchie B, Amdur RL, Pourmand A. Virtual Reality-Assisted Pain, Anxiety, and Anger Management in the Emergency Department. *Telemed J E Health* 2019;25(12):1207-15 doi: 10.1089/tmj.2018.0273 [published Online First: Epub Date].
108. Anderson PL, Molloy A. Maximizing the impact of virtual reality exposure therapy for anxiety disorders. *Curr Opin Psychol* 2020;36:153-57 doi: 10.1016/j.copsyc.2020.10.001 [published Online First: Epub Date].
109. Chow H, Hon J, Chua W, Chuan A. Effect of Virtual Reality Therapy in Reducing Pain and Anxiety for Cancer-Related Medical Procedures: A Systematic Narrative Review. *J. Pain Symptom Manage.* 2020 doi: 10.1016/j.jpainsymman.2020.08.016 [published Online First: Epub Date].
110. Ahmad M, Bani Mohammad E, Anshasi HA. Virtual Reality Technology for Pain and Anxiety Management among Patients with Cancer: A Systematic Review. *Pain Manag Nurs* 2020;21(6):601-07 doi: 10.1016/j.pmn.2020.04.002 [published Online First: Epub Date].
111. Garrett BM, Tao G, Taverner T, Cordingley E, Sun C. Patients' perceptions of virtual reality therapy in the management of chronic cancer pain. *Heliyon* 2020;6(5):e03916 doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03916 [published Online First: Epub Date].
112. Colombo V, Aliverti A, Sacco M. Virtual reality for COPD rehabilitation: a technological perspective. *Pulmonology* 2020 doi: 10.1016/j.pulmoe.2020.11.010 [published Online First: Epub Date].
113. Zhao J-Q, Zhang X-X, Wang C-H, Jun Yang J. Effect of cognitive training based on virtual reality on the children with autism spectrum disorder. *Current Research in Behavioral Sciences* 2021;2(100013).
114. Webster A, Poyade M, Rooney S, Paul L. Upper limb rehabilitation interventions using virtual reality for people with multiple sclerosis: A systematic review. *Mult Scler Relat Disord* 2021;47:102610 doi: 10.1016/j.msard.2020.102610 [published Online First: Epub Date].
115. Cieslik B, Mazurek J, Rutkowski S, Kiper P, Turolla A, Szczepanska-Gieracha J. Virtual reality in psychiatric disorders: A systematic review of reviews. *Complement. Thr. Med.* 2020;52:102480 doi: 10.1016/j.ctim.2020.102480 [published Online First: Epub Date].
116. Aldaba CN, Moussavi Z. Effects of virtual reality technology locomotive multi-sensory motion stimuli on a user simulator sickness and controller intuitiveness during a navigation task. *Med. Biol. Eng. Comput.* 2020;58(1):143-54 doi: 10.1007/s11517-019-02070-2 [published Online First: Epub Date].

## **MESA 5 • SESSION 5**

Moderador:

**Ignacio González Secunza**

# Fisioterapia digital en la prevención y el tratamiento de enfermedades crónicas

**Clara Bergé Ortíz**

*Fisioterapeuta. Máster en Readaptación a la Actividad Física y el Deporte.*

*Doctoranda en Ciencias de la Salud. Creadora del proyecto de divulgación de la salud y fisioterapia digital: #PlanBe Fisioterapia*

## 1. Introducción

Las enfermedades crónicas encabezan las principales causas de morbilidad mundial, se caracterizan por ser de larga duración y lenta progresión, limitan la calidad de vida de pacientes y cuidadoras, suponiendo una mortalidad prematura. Además, repercuten en un aumento del gasto de los servicios sanitarios y de los tratamientos farmacológicos.

Según la encuesta de salud realizada por el Instituto Nacional de Estadística en 2017, en España casi 1 de cada 6 adultos (> 15 años) sufre alguna de estas patologías. Las más frecuentes son: el dolor lumbar crónico (18,6%), la hipertensión arterial (18,5%), la artrosis (18,3%), la hipercolesterolemia (16,4%) y el dolor cervical crónico (15,9%). Son más habituales en mujeres que en hombres. El número de personas con un diagnóstico de dolor lumbar crónico superó los 7,2 millones de afectados.

El acceso a la fisioterapia tradicional ha sido alterado debido a la pandemia de la COVID-19. Los servicios de telesalud han dado respuesta a una demanda inesperada que ha surgido debido a las restricciones impuestas para la prevención del contagio. En concreto, la telefisioterapia se define como la prestación de servicios de fisioterapia a distancia mediante la tecnología de la información y la comunicación. Las diferentes modalidades de teleasistencia han sido una solución válida adoptada por muchas profesiones sanitarias durante esta crisis. Si bien los avances tecnológicos significativos han hecho factible la adopción de esta alternativa, hay muchos factores a considerar previamente a implementar este servicio.

## 2. Fisioterapia digital

Durante este repentino cambio, ha habido un crecimiento acusado de prestación de servicios a distancia, aun así, la evolución en aumento de la fisioterapia digital ya era una realidad antes de la pandemia.

El uso de la tecnología digital para el desarrollo de la fisioterapia hace años que se emplea. Tenemos gran variedad de herramientas y dispositivos para la evaluación, el registro de datos, la comunicación entre profesionales y con los pacientes, el monitoreo y control de los tratamientos, que facilitan nuestra práctica clínica asistencial y, sin duda, la investigación.

Tenemos que contemplar que la telefisioterapia es una herramienta más dentro de la fisioterapia digital y que no debe ser usada como sinónimo. Cabe destacar que en la literatura científica se hace referencia a telerrehabilitación (MeSH Terms:Telerehabilitation); aunque sería conveniente hacer la diferenciación entre telefisioterapia y telerrehabilitación, ya que esta segunda involucraría a todo el conjunto de profesiones que participan en procesos de rehabilitación (fisioterapia, terapia ocupacional, logopedia, neuropsicología, medicina e ingeniería biomédica) y la primera sólo a los fisioterapeutas.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta el modo en que la presencia de la fisioterapia en internet, mediante blogs, canales de contenido multimedia, foros e, incluso aplicaciones específicas, se ofrece como una fuente de información y soporte para muchos pacientes crónicos que buscan alternativas de tratamiento que se adapten a sus necesidades y posibilidades. Podríamos definir estas intervenciones como prácticas de salud digital por parte de fisioterapeutas que no requieren acreditaciones para ser publicadas y accesibles a los usuarios de internet.

La fisioterapia digital puede tener mucho más protagonismo en el manejo de las enfermedades crónicas, ya que las bases de los tratamientos aplicados se fundamentan básicamente en la educación del paciente y la prescripción de ejercicio terapéutico. Los principales objetivos de los tratamientos se centran en aliviar la sintomatología y mejorar la funcionalidad, así como en la prevención de futuras complicaciones, el consumo excesivo de medicamentos y los costes de las intervenciones de otros especialistas<sup>(1)</sup>.

El dolor crónico musculoesquelético es una de las causas que genera mayor número de años vividos con discapacidad, teniendo un gran impacto económico en relación con las horas de trabajo perdidas, y en el consumo de recursos sanitarios<sup>(2-4)</sup>.

## 3. Telefisioterapia: Revisión de la literatura

Si analizamos la literatura, encontramos que varias revisiones sistemáticas han demostrado que la telefisioterapia (o telerrehabilitación) puede proporcionar mejoras en el dolor, la función física y la discapacidad que son similares a la atención habitual para las personas con afecciones musculoesqueléticas (ME) y patologías crónicas<sup>(5-9)</sup>.

En una revisión de Cottrell et al, se afirma que la telerrehabilitación sincrónica es una opción viable para el manejo clínico de las afecciones musculoesqueléticas<sup>(5)</sup>. Tanto ellos como el equipo de Jiang et al, reportaron que existen pruebas sólidas para recomendar el uso de la videoconferencia como eficaz, comparable y no inferior al tratamiento convencional en pacientes con artroplastia total de rodilla en lo que se refiere a la mejora de la función física y el dolor<sup>(5,7)</sup>.

Dario et al en su revisión concluyen que las intervenciones para el tratamiento de dolor lumbar inespecífico no son más efectivas que las clásicas si se utilizan de forma aislada. Ensayos individuales obtuvieron beneficios para el manejo del dolor lumbar agudo y subagudo, si se empleaban como complemento de la atención habitual<sup>(6)</sup>.

Adamse et al afirman que la práctica digital remota podría ser aplicable como sustitución de la atención habitual, pero que las intervenciones basadas en ejercicios no parecen tener un valor superior al tratamiento convencional. Cabe destacar que en su revisión se incluyen estudios muy dispares y que no todos aplican tratamientos basados en los conocimientos actuales sobre el abordaje del dolor crónico<sup>(7)</sup>.

En patologías como la diabetes tipo 2, Duruturk et al definen diversas ventajas de la telerrehabilitación con resultados muy favorables para la mejora del autocontrol y automanejo de la enfermedad<sup>(10)</sup>.

Dias et al corroboran lo expuesto, destacando la importancia de las intervenciones multi-componente dónde la finalidad del uso de herramientas digitales no se centra únicamente en la aplicación del protocolo de ejercicios, sino que también se incorporan estrategias para facilitar el autocuidado, involucrar al paciente en el proceso y motivar los cambios de comportamiento de los pacientes con enfermedades crónicas<sup>(9)</sup>.

La revisión de Mani et al se enfocó en explorar la validez y confiabilidad de la evaluación mediante telefisioterapia en los trastornos ME, concluyendo que permite la valoración del ROM articular, la fuerza muscular, el equilibrio, la hinchazón, el dolor, la marcha y las capacidades funcionales. Reportaron limitaciones específicas para la valoración de la columna lumbar, la realización de pruebas ortopédicas, neurodinámicas y evaluación de cicatrices<sup>(11)</sup>.

La falta de adherencia a los programas de ejercicio terapéutico podría llegar al 70% comprometiendo los resultados de los tratamientos y provocando la recurrencia de los síntomas<sup>(12)</sup>. Diversos estudios controlados aleatorios han demostrado que la implementación de herramientas digitales supuso una mayor adherencia a este tipo de tratamientos, destacando como ventajas la posibilidad de autogestión y adaptación de los horarios que permiten los modelos asincrónicos, la previa formación en el uso de las herramientas escogidas y el fácil manejo de plataformas o aplicaciones<sup>(13-15)</sup>. Es relevante destacar que la adherencia evaluada en postcirugías es mucho mayor que en los tratamientos cuyo objetivo se orienta a evitar la posible cirugía o las complicaciones de estas enfermedades de lenta evolución. La educación para la salud es un elemento indispensable de la ecuación para lograr el cumplimiento de los tratamientos basados en la aplicación de ejercicios y los cambios de comportamiento.

En cuanto a la repercusión en los costes, la mayoría de estudios no pueden extraer conclusiones debido a la variedad de las intervenciones y el hecho de que no se conocen las repercusiones a largo plazo<sup>(5,6,8,11)</sup>. El estudio de Tousignant et al encontró un diferencial de costes a favor del grupo de telefisioterapia en comparación con el grupo control debido a la reducción significativa del tiempo y los costes de viaje, sumado a un decremento en el número de visitas al ambulatorio<sup>(16)</sup>.

Las conclusiones generales de las revisiones sistemáticas nos indican que las herramientas para la telefisioterapia (o telerrehabilitación) son una opción viable para el manejo clínico de las patologías crónicas, considerando como ventajas: el mayor nivel de independencia y control por

parte del usuario, la mayor flexibilidad para la programación de citas, la disminución de los costes relacionados con los viajes y el tiempo perdido en otras actividades, incluido el empleo y el cuidado de los demás<sup>(5,6,8,9,17)</sup>.

Futuras investigaciones deberían mejorar la calidad de la metodología, estableciendo de forma más específica los detalles y los contenidos de las intervenciones utilizadas. Se considera necesario emplear muestras mayores y realizar seguimientos más prolongados<sup>(5,6,8,9,18)</sup>. Por ahora, no es posible definir las características individuales de los pacientes, aspecto útil para mejorar la adherencia y la eficacia del tratamiento<sup>(6,8)</sup>.

#### 4. Aplicación de la fisioterapia digital en la práctica clínica

En la práctica clínica habitual se emplea la fisioterapia digital sin conciencia de ello, la revolución digital ya está instaurada en pleno siglo XXI y, tanto profesionales como pacientes, utilizan a diario múltiples vías de comunicación, obtención y transmisión de datos digitales. Refiriéndonos concretamente a la telefisioterapia, cabe destacar que su uso fue exponencialmente impulsado durante este último año debido a la necesidad inmediata de solventar la imposibilidad de la asistencia presencial.

Esto supuso un gran esfuerzo de adaptación, empleando métodos improvisados (herramientas de teleasistencia, aplicaciones o contenido de acceso libre, etc.) y se han cometido errores y pasado por alto aspectos que se pueden y se deben rectificar, tanto a nivel individual como colectivo. La investigación será una de las prioridades del colectivo profesional, así como es y será una responsabilidad conocer y aplicar los conocimientos extraídos de estas investigaciones.

##### 4.1 Telefisioterapia: Consideraciones generales para la prescripción de ejercicio

Los estudios científicos experimentales realizados en telefisioterapia, además de presentarnos conclusiones acerca de sus hipótesis de investigación, nos permiten observar y reproducir su metodología o tomarla como guía, adaptándola a nuestras necesidades y posibilidades, para lograr intervenciones clínicas con fundamentos basados en la evidencia científica.

La autoeficacia, el control de los ejercicios que el paciente realiza utilizando dispositivos digitales es comparable a la presencial, pero es importante que los ejercicios sean de baja complejidad, evitando prescribir tareas demasiado desafiantes<sup>(19)</sup>.

Cuanto más específicas sean las características de los pacientes, mejor podremos adaptar la prescripción, aun así, debemos ofrecer herramientas para autogestionar las dosis y la intensidad de los ejercicios<sup>(8,19)</sup>.

Tanto profesionales como pacientes requieren de cierto tiempo de experimentación en la era digital, por lo que es necesario dedicar tiempo a instruir debidamente a los pacientes en el manejo de las herramientas escogidas, y empezar a utilizar esta tecnología como complemento a las sesiones presenciales<sup>(6-8,19)</sup>.

Algunas de las plataformas o aplicaciones utilizadas para la prescripción de ejercicio en patologías crónicas han empleado como modelos para ejemplificar los ejercicios a personas con las

características más comunes (edad, condición física, aspecto, nivel de alfabetización digital) que tienen el perfil de pacientes a los que se dirigen<sup>(20-22)</sup>. Esta alternativa simularía lo que en programas presenciales se realiza con la figura del “paciente experto” y puede ser una buena forma de empatar y convencer a los pacientes de sus propias capacidades.

Los estudios que han empleado métodos de teleconsulta sincrónica tienen la posibilidad de adaptar in situ el tratamiento planteado<sup>(5,7)</sup>, por otro lado, las modalidades de telefisioterapia asincrónica, mediante aplicaciones, plataformas web o dispositivos específicos promueven un mayor empoderamiento del paciente, permitiéndole organizarse y elegir cuándo realizar las pautas prescritas<sup>(13-15)</sup>.

#### 4.2 Telefisioterapia: Uso de contenido audiovisual

Generar el propio contenido audiovisual puede ser una alternativa de telefisioterapia asincrónica, que puede favorecer la aceptación del tratamiento, considerando que no se perdería el vínculo paciente-fisioterapeuta, aunque la comunicación no fuese a tiempo real. Algunas sugerencias interesantes extraídas teniendo en cuenta protocolos de tratamientos para la osteoartritis de rodilla y de cadera y para el manejo del dolor lumbar inespecífico son<sup>(19-21,23-25)</sup>:

a) Registro de los ejercicios: Se deben visualizar y narrar detallando la posición inicial y final, las posibles sensaciones, dando las opciones de intensidad de menos a más.

b) Se debe emplear un vocabulario adecuado al público receptor, sin tecnicismos. Un modo de favorecer la comprensión es emplear ejemplos de situaciones de la vida diaria. Se debe evitar el lenguaje “nocéxico” (p.ej. inestabilidad, desgaste, degeneración, daño).

c) El paciente debe sentirse seguro y competente durante la realización de los ejercicios propuestos, no se le debe instruir con la convicción de que hay una manera “correcta” y única de hacer los ejercicios.

d) Se proporcionarán herramientas para saber cómo autogestionar la dosis y la intensidad de los ejercicios. Una indicación para el paciente con dolor es que mantenga la posición inicial o final con una contracción isométrica.

e) Permitir que el paciente elija entre varias propuestas o sugerirle que tenga opciones para los días que se sienta con menos ganas o con dolor; favorecerá el cumplimiento de la pauta.

f) Se recomienda utilizar soporte acústico (foco externo) para el control del ritmo de ejecución.

g) Es necesario favorecer que el paciente tenga una experiencia positiva con la práctica de los ejercicios, lanzar mensajes motivacionales, felicitar por el esfuerzo, mostrar cercanía.

h) Es interesante simular que se mantiene una conversación real con el paciente, se aconseja mirar a la cámara para lograr el “contacto visual”, que se visualicen los gestos de nuestras manos en el plano de grabación.

Aunque se decida no generar el propio contenido, estas recomendaciones permiten tener mejor criterio para elegir posibles protocolos disponibles en internet.

## 5. Fisioterapia en la red. Prácticas de telesalud

Cuando los pacientes consideran que no tienen información suficiente acerca de su enfermedad, acceden a fuentes de contenido alternativas. Las restricciones impuestas por el estado de alarma han supuesto un aumento de la búsqueda de información online, sumado a que muchos fisioterapeutas (y demás profesionales sanitarios) han optado por utilizar estos canales de comunicación digital para aportar respuestas a la población.

Consultar en internet ya era una práctica muy común, pues nos ofrece respuestas inmediatas, específicas y sin costes<sup>(25)</sup>, pero la cantidad de resultados que se obtienen al teclear un término médico en un buscador suele ser inabordable y el internauta/paciente precisa criterios para discernir entre fuentes verídicas o fiables frente a las no recomendables. La información leída puede incidir en el cambio en la conducta o pensamientos de un paciente y sabemos que, romper mitos y creencias, es uno de los objetivos iniciales en el tratamiento del dolor<sup>(26,27)</sup>.

Gran parte del contenido no científico que se distribuye en las redes sociales, periódicos digitales, anuncios, memes, etc., ofrece una interpretación equivocada del dolor<sup>(28)</sup> y, lamentablemente, no hay tampoco unanimidad en el contenido escrito por profesionales sanitarios. Existen una serie de acreditaciones que puede ayudar a filtrar los resultados de las búsquedas<sup>(29)</sup>, pero la mayoría de los usuarios de internet las desconocen.

Por lo tanto, se debería considerar: (1) es una necesidad que los pacientes reciban educación en el manejo de la información de la red; (2) compartir contenido digital relacionado con la fisioterapia o con la salud es una responsabilidad; (3), la falta de calidad de los contenidos daña la imagen de nuestra profesión.

## 6. Conclusiones

Las intervenciones de telefisioterapia son eficaces para mejorar el dolor, la función física y la discapacidad de las personas con afecciones musculoesqueléticas y patologías crónicas. Suponen ventajas para la implementación de programas de salud en comunidades rurales y remotas o para personas que no pueden desplazarse a su centro de salud; además, fomentan la autogestión y automanejo de la enfermedad.

Son necesarias futuras investigaciones con mejoras en la calidad metodológica, empleando muestras mayores y realizando seguimientos más prolongados para conocer los efectos a largo plazo y supuesta reducción de los costes. Una línea interesante de investigación podría centrarse en evaluar intervenciones en el mismo lugar de trabajo.

Considerando que los contenidos de salud digital presentes en internet pueden ser una parte, contemplada o no, del tratamiento de fisioterapia, es necesario que como profesionales de la salud seamos conscientes de cómo puede repercutir la información que un lector, seguidor o usuario “no experto” recibe de estas fuentes. La educación en el manejo de esta información será responsabilidad del fisioterapeuta.

En la editorial de Lewis et al, y citando a Elizabeth Kenny, se anima a aprovechar la oportunidad brindada a ofrecer: (1) atención principalmente activa, (2) centrada en la autoeficacia y autogestión, y (3) mucho menos dependiente de las terapias pasivas<sup>(1)</sup>. Aun así, se debe tener presente que “no todo vale” ni “más es mejor” y que basar nuestros tratamientos teniendo en cuenta la evidencia científica disponible es fundamental.

### Referencias bibliográficas

- Lewis J, Auliffe SMC, O'Sullivan K, O'Sullivan P, Whiteley R. Musculoskeletal physical therapy after COVID-19: Time for a new normal". *J Orthop Sports Phys Ther.* 2021;51(1):5-7. doi:10.2519/jospt.2021.0102.
- Breivik H, Eisenberg E, O'Brien T. The individual and societal burden of chronic pain in Europe: The case for strategic prioritisation and action to improve knowledge and availability of appropriate care. *BMC Public Health.* 2013;13(1). doi:10.1186/1471-2458-13-1229.
- Gaskin DJ, Richard P. The economic costs of pain in the United States. *J Pain.* 2012;13(8):715-724. doi:10.1016/j.jpain.2012.03.009.
- Raftery M, Ryan P, Normand C, Murphy A, De La Harpe D, Mcguire B. The Economic Cost of Chronic Noncancer Pain in Ireland: Results From the PRIME Study, Part 2. *J Pain.* 2012;13:139-145. doi:10.1016/j.jpain.2011.10.004
- Cottrell MA, Galea OA, O'Leary SP, Hill AJ, Russell TG. Real-time telerehabilitation for the treatment of musculoskeletal conditions is effective and comparable to standard practice: A systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2017;31(5):625-638. doi:10.1177/0269215516645148.
- Dario AB, Moreti Cabral A, Almeida L, et al. Effectiveness of telehealth-based interventions in the management of non-specific low back pain: a systematic review with meta-analysis. *Spine J.* 2017;17(9):1342-1351. doi:10.1016/j.spinee.2017.04.008.
- Jiang S, Xiang J, Gao X, Guo K, Liu B. The comparison of telerehabilitation and face-to-face rehabilitation after total knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis. *J Telemed Telecare.* 2018;24(4):257-262. doi:10.1177/1357633X16686748.
- Adamse C, Dekker-Van Weering MGH, van Etten-Jamaludin FS, Stuiver MM. The effectiveness of exercise-based telemedicine on pain, physical activity and quality of life in the treatment of chronic pain: A systematic review. *J Telemed Telecare.* 2018;24(8):511-526. doi:10.1177/1357633X17716576.
- Dias JF, Oliveira VC, Borges PRT, et al. Effectiveness of exercises by telerehabilitation on pain, physical function and quality of life in people with physical disabilities: A systematic review of randomised controlled trials with GRADE recommendations. *Br J Sports Med.* 2020;1-10. doi:10.1136/bjsports-2019-101375
- Duruturk N. Telerehabilitation intervention for type 2 diabetes. *World J Diabetes.* 2020;11(6):218-226. doi:10.4239/wjdv11.i6.218.
- Mani S, Sharma S, Omar B, Paungmali A, Joseph L. Validity and reliability of Internet-based physiotherapy assessment for musculoskeletal disorders: a systematic review. *J Telemed Telecare.* 2017;23(3):379-391. doi:10.1177/1357633X16642369.

- Bachmann C, Oesch P, Bachmann S. Recommendations for Improving Adherence to Home-Based Exercise: A Systematic Review. *Phys Medizin Rehabil Kurortmedizin.* 2018;28(1):20-31. doi:10.1055/s-0043-120527.
- Bennell KL, Marshall CJ, Dobson F, Kasza J, Lonsdale C, Hinman RS. Does a Web-Based Exercise Programming System Improve Home Exercise Adherence for People with Musculoskeletal Conditions?: A Randomized Controlled Trial. *Am J Phys Med Rehabil.* 2019;98(10):850-858. doi:10.1097/PHM.0000000000001204.
- Lambert TE, Harvey LA, Avdalis C, et al. An app with remote support achieves better adherence to home exercise programs than paper handouts in people with musculoskeletal conditions: a randomised trial. *J Physiother.* 2017;63(3):161-167. doi:10.1016/j.jphys.2017.05.015.
- Bini SA, Mahajan J. Clinical outcomes of remote asynchronous telerehabilitation are equivalent to traditional therapy following total knee arthroplasty: A randomized control study. *J Telemed Telecare.* 2016;23(2):239-247. doi:10.1177/1357633X16634518.
- Tousignant M, Moffet H, Nadeau S, et al. Cost analysis of in-home telerehabilitation for post-knee arthroplasty. *J Med Internet Res.* 2015;17(3):1-12. doi:10.2196/jmir.3844.
- WCPT. Report of the Wcpt / Inpra Digital Physical Therapy. World Confed Phys Ther Int Netw Physiother Regul Authorities Rep WCPT/INPTRA Digit Phys Ther Pract task force 2020. 2020;(March). [https://www.wcpt.org/sites/wcpt.org/files/files/wcptnews/REPORT\\_OF\\_THE\\_WCPTINPTRA\\_DIGITAL\\_PHYSICAL\\_THERAPY\\_PRACTICE\\_TASK\\_FORCE\\_MARCH\\_2020.pdf](https://www.wcpt.org/sites/wcpt.org/files/files/wcptnews/REPORT_OF_THE_WCPTINPTRA_DIGITAL_PHYSICAL_THERAPY_PRACTICE_TASK_FORCE_MARCH_2020.pdf).
- Cottrell MA, Russell TG. Telehealth for musculoskeletal physiotherapy. *Musculoskelet Sci Pract.* 2020;48(May):102193. doi:10.1016/j.msksp.2020.102193.
- Durst J, Roesel I, Sudeck G, Sassenberg K, Krauss I. Effectiveness of human versus computer-based instructions for exercise on physical activity-related health competence in patients with hip osteoarthritis: Randomized noninferiority crossover trial. *J Med Internet Res.* 2020;22(9). doi:10.2196/18233.
- Skou ST, Roos EM. Good Life with osteoArthritis in Denmark (GLA:DTM): evidence-based education and supervised neuromuscular exercise delivered by certified physiotherapists nationwide. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):1-13. doi:10.1186/s12891-017-1439-y.
- Kjaer P, Kongsted A, Ris I, et al. GLA:D® Back group-based patient education integrated with exercises to support selfmanagement of back pain - Development, theories and scientific evidence - Development. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19(1):1-21. doi:10.1186/s12891-018-2334-x.
- Casas-Herrero A, Anton-Rodrigo I, Zambom-Ferraresi F, et al. Effect of a multicomponent exercise programme (VIVIFRIL) on functional capacity in frail community elders with cognitive decline: Study protocol for a randomized multicentre control trial. *Trials.* 2019;20(1):1-12. doi:10.1186/s13063-019-3426-0.
- Chua LK, Wulf G, Lewthwaite R. Onward and upward: Optimizing motor performance. *Hum Mov Sci.* 2018;60(March):107-114. doi:10.1016/j.humov.2018.05.006
- Sudeck G, Schmid J, Conzelmann A. Exercise experiences and changes in affective attitude: Direct and indirect effects of in situ measurements of experiences. *Front Psychol.* 2016;7(JUN):1-15. doi:10.3389/fpsyg.2016.00900

25. Lim YZ, Chou L, Au RT, et al. People with low back pain want clear, consistent and personalised information on prognosis, treatment options and self-management strategies: a systematic review. *J Physiother.* 2019;65(3):124-135. doi:10.1016/j.jphys.2019.05.010.
26. Galan-Martin MA, Montero-Cuadrado F, Lluch-Girbes E, Coca-López MC, Mayo-Iscar A, Cuesta-Vargas A. Pain Neuroscience Education and Physical Therapeutic Exercise for Patients with Chronic Spinal Pain in Spanish Physiotherapy Primary Care: A Pragmatic Randomized Controlled Trial. *J Clin Med.* 2020;9(4):1201. doi:10.3390/jcm9041201.
27. Booth J, Moseley GL, Schiltenwolf M, Cashin A, Davies M, Hübscher M. Exercise for chronic musculoskeletal pain: A biopsychosocial approach. *Musculoskeletal Care.* 2017;15(4):413-421. doi:10.1002/msc.1191.
28. Kugelman R, Watson K, Frisby G. Social representations of chronic pain in newspapers, online media, and film. *Pain.* 2019;160:298-306.
29. Boyer C, Gaudinat A, Baujard V, Geissbühler A. Health on the net foundation: Assessing the quality of health web pages all over the world. *Stud Health Technol Inform.* 2007;129:1017-1021.

## Aplicaciones móviles en neurorrehabilitación

**María Teresa Sánchez Rodríguez**

Fisioterapeuta.

Doctora en Ciencias de la Salud por la Universidad Rey Juan Carlos.

### Introducción

La Secretaría General de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico de la Comisión Europea ha reconocido las oportunidades que las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) ofrecen al sector de la salud, centrándose en la mejora de la calidad de los servicios y la reducción de los costes de los servicios médicos. El uso de las aplicaciones móviles en salud o mHealth, permitiría aumentar la eficiencia en diferentes contextos, como en la creación de registro de pacientes, pago de servicios, diagnóstico remoto, programación de citas de seguimiento, vigilancia de enfermedades, comunicación médico-paciente, sistemas de call centers, comunicación y gestión de personal, entrenamiento, gestión de cadenas de suministro o con fines de investigación. Ante la adopción de la mHealth, los profesionales de la salud y, concretamente, los que trabajan en el campo de la neurorrehabilitación podrían beneficiarse de un gran número de posibilidades, por ejemplo, en la detección precoz de síntomas, en la monitorización de la actividad física realizada, en la geolocalización de pacientes o en la adherencia a los tratamientos, entre otros, al objeto de modelar comportamientos y diseñar mejores intervenciones de prevención, atención y seguimiento<sup>(1)</sup>.

La mHealth se postula como una de las grandes apuestas para pacientes, proveedores e inversores. Dentro de este contexto de nuevas tecnologías aplicadas al sector sanitario, el fenómeno de las aplicaciones móviles o “apps” resulta muy prometedor, aportando una nueva visión de la concepción del cuidado de la salud tanto para el profesional como para el paciente<sup>(2,3)</sup>.

El término app es una abreviatura de la palabra en inglés “application”. Se trata de un programa con unas características especiales, que se instala en un dispositivo móvil, ya sea tableta digital o teléfono inteligente, y que suele tener un tamaño reducido, para adaptarse a las limitaciones de potencia y almacenamiento de dichos dispositivos. El objetivo de una app es facilitar la consecución de una tarea determinada o asistir en operaciones y gestiones diarias<sup>(4)</sup>, siendo el modo de interacción entre el usuario y la aplicación a través del tacto.

Entre sus potenciales objetivos desde el punto de vista de las Ciencias de la Salud destacarían: su capacidad en el empoderamiento del paciente, modificación en los hábitos de vida, cambio de relaciones y procesos, monitorización y almacenamiento inteligente de datos<sup>(5)</sup>.

Entre las numerosas empresas de smartphones se han calculado unas ventas totales de alrededor de 1.600 millones, estando en cabeza Google Android y Apple iOS, las cuales controlan el 97,8 % del mercado. Por ello, el alcance de estos dispositivos móviles es de gran interés, existiendo

millones de dispositivos conectados en la actualidad<sup>(6)</sup>. Como consecuencia han aumentado el número de apps disponibles en los principales mercados de aplicaciones móviles, existiendo más de 2 millones de apps entre las que aparecen Google Play Store y Apple Store<sup>(7)</sup>. De estas apps, unas 165.000 estarían dedicadas al campo de la salud y de la medicina<sup>(2)</sup>.

## Objetivo

El objetivo del siguiente trabajo fue realizar una revisión sistemática acerca de la información publicada sobre las apps enfocadas al campo de la neurorrehabilitación, con el fin de clasificarlas y llevar a cabo una descripción de las principales características de las mismas<sup>(4)</sup>.

## Material y métodos

Se realizó una revisión sistemática mediante una búsqueda bibliográfica en bases de datos biomédicas, así como en otras fuentes de información propias del ámbito de las aplicaciones tipo apps. Se clasificaron en 5 categorías: hábitos saludables, informativas, valoración, tratamiento y específicas<sup>(4)</sup>.

## Resultados

A modo de resumen, la clasificación de las apps en las diferentes categorías fue: 11 apps de hábitos saludables, 27 apps informativas, 28 apps de valoración, 29 apps de tratamiento (diferenciando 18 para tratamiento físico, 8 para el cognitivo y 3 para el tratamiento de logopedia) y 20 apps específicas en neurorrehabilitación.

En función del público a quien estaban dirigidas, 40 aplicaciones estaban orientadas a pacientes y familiares, 37 a profesionales sanitarios y 23 a ambos grupos.

De manera general, clasificándolas según su precio, encontramos 22 apps de pago, mientras que las 78 restantes eran gratuitas<sup>(4)</sup> (Tabla 1, a partir de la página 118).

## Conclusiones

Existen ciertas evidencias de que algunas apps son efectivas y fiables como tratamiento coadyuvante en el tratamiento rehabilitador de ciertas patologías neurológicas, destacando las apps centradas en hábitos saludables, en el tratamiento del equilibrio, apps de evaluación y diarios de comunicación a tiempo real entre el terapeuta y su paciente, aunque estos resultados deben ser tomados con cautela ante la escasa calidad metodológica de los trabajos publicados.

Ante la abundante cantidad de aplicaciones disponibles con potenciales aplicaciones en el campo de la neurorrehabilitación es importante que los desarrolladores y los diseñadores de las apps conozcan cuáles son las necesidades de la población con patología neurológica para que sus productos sean válidos y eficaces en dicho contexto. Del mismo modo, los profesionales, los pacientes, los familiares y los cuidadores deberían disponer de criterios e indicadores que pudieran ayudarles a seleccionar las aplicaciones óptimas para sus necesidades concretas.

Para una correcta implantación de las apps en el campo de la neurorrehabilitación es indispensable garantizar el acceso y la utilización de las tecnologías móviles por parte de profesionales, pacientes, familiares y cuidadores, así como concienciar a la industria en aspectos de usabilidad, accesibilidad e igualdad de oportunidades<sup>(4)</sup>.

## Referencias bibliográficas

1. Cano de la Cuerda R, Yepes Rojas O, Sánchez Rodríguez M T. Evaluación de la discapacidad pediátrica a través de aplicaciones móviles. En: Pinzón Bernal M Y, Salamanca Duque L M. Evaluación neuropediatría a través de las tecnologías. Editorial Medica Panamericana. 191- 201.
2. Mugarza F. Informe app salud en español. En: Informe de las mejores 50 app de Salud en español. The App Intelligence. Madrid: Zeltia; 2011.
3. Organización Panamericana de la Salud. Conversaciones sobre Salud, 2014 [consultado 10 Ene 2021] Disponible en: <http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/28391>.
4. Sánchez-Rodríguez MT, Collado-Vázquez S, Martín-Casas P, Cano de la Cuerda R. Neurorehabilitation and apps: A systematic review of mobile applications. *Neurol.* 2018;33(5):313-26.
5. Jonathan P, Yeh S, Blumenthal D. The Impact of health information technology and e-health on the future demand for physician services. *Health Affairs.* 2013; 32 (11): 1998-2004.
6. Morera EP, de la Torre-Díez I, García-Zapirain B, López-Coronado M, Arambarri J. Security recommendations for mHealth app: Elaboration of a developer's guide. *J Med Syst.* 2016;40:152.
7. Ditrendia, Informe Mobile en España y en el mundo 2015, 2015 [consultado 3 Enero 2021]. Disponible en: <http://www.ditrendia.es/wp-content/uploads/2015/07/Ditrendia-Informe-Mobile-enEspana%C3%B1a-y-en-el-Mundo-2015.pdf>.

TABLA 1. LISTADO APPS CON APLICACIÓN EN NEURORREHABILITACIÓN

Nombre de la aplicación	Paciente/ Profesional	Pago/ Gratuita	Breve descripción	Clasificación	Patología
<b>Aemps CIMA</b>	Profesionales	Gratuita	Información farmacológica	Informativa	Todas las patologías
<b>Alzheimer. YoTeCuido</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Información sobre la patología	Específica	Alzheimer
<b>Alzheimer Info</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Información sobre la patología	Específica	Alzheimer
<b>Alzheimer Info y Ejercicios</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Información sobre la patología	Específica y Tratamiento	Alzheimer
<b>Alzheimer's Daily Companion</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Información sobre la patología	Específica	Alzheimer
<b>AMiAlcance. Mefacilyta aMiAlcance</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Mejora el uso de tecnología	Hábitos saludables	Alteración cognitiva
<b>Autismo. Descubra emociones</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Mejora la comunicación	Tratamiento	Alteración cognitiva
<b>Autismo iHelp</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Mejora la comunicación	Tratamiento (Logopedia)	Alteración cognitiva
<b>Baby Exercises and Activities. Desarrollo y juego del bebé.</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Ejercicios para estimulación pediátrica	Informativa y tratamiento	Retraso global del desarrollo
<b>Baby's Motor Milestones</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Hitos del desarrollo motor del bebe	Informativa	Retraso global del desarrollo

<b>BabySparks</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Hitos del desarrollo motor del bebe y ejercicios	Informativa y tratamiento	Retraso global del desarrollo
<b>Beats Medical</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Tratamiento movilidad, habla y destreza	Valoración y tratamiento	Parkinson
<b>Brainyapp</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Entrenamiento de la memoria	Tratamiento (Cognitiva)	Todas las patologías
<b>Cath my pain</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Diario de dolor	Valoración	Todas las patologías
<b>CareZone</b>	Profesionales	Gratuita	Información farmacológica	Informativa	Todas las patologías
<b>Cerebral Palsy</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Tratamiento y entendimiento de una patología	Específica	Daño cerebral
<b>Clinometer</b>	Profesionales	Pago	Herramienta de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>Contador de calorías</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Mejora hábitos de vida (Alimentación)	Hábitos saludables	Todas las patologías
<b>Daño cerebral</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Tratamiento y entendimiento de una patología	Específica	Daño cerebral
<b>Dexterity. Motricidad fina desarrollo de habilidades</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Pago	Actividades para tratamiento de manos	Informativa	Todas las patologías
<b>Dr. Goniometer</b>	Profesionales	Pago	Herramienta de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>EDSS Calculator</b>	Profesionales	Pago (iOS) Gratuita (Android)	Herramienta de trabajo	Valoración	Todas las patologías

<b>EM All in One</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Informativa	Específica	Esclerosis Múltiple
<b>Endomondo</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Mejora hábitos de vida (Ejercicio)	Hábitos saludables	Todas las patologías
<b>Epocrates</b>	Profesionales	Gratuita	Información médica	Informativa	Todas las patologías
<b>Escala de coma Glasgow</b>	Profesionales	Gratuita	Herramienta de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>Escala de ictus de NIHSS</b>	Profesionales	Pago	Herramienta de trabajo	Valoración	ICTUS
<b>Escala RACE</b>	Profesionales	Gratuita	Herramienta de trabajo	Valoración	ICTUS
<b>Escoliómetro HD</b>	Profesionales	Pago	Herramientas de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>Estimulación Temprana para Bebés</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Información útil para el desarrollo del bebé	Informativa	Retraso global del desarrollo
<b>EVA Facial Mouse</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Ayuda al paciente	Hábitos de vida saludable y Tratamiento	Todas las patologías
<b>Fisioterapia a tu alcance</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Informativa	Informativa y Trat. (Físico)	Todas las patologías
<b>Fisioterapia respiratoria</b>	Profesionales	Pago	Herramienta de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>Fit Brains Trainer</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Entrenamiento cognitivo	Tratamiento	Todas las patologías
<b>Goniometer Records</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>Goniómetro Pro Gratuito (Angle pro free)</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Valoración	Todas las patologías

<b>Google Fit</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Mejora hábitos de vida (Ejercicio)	Hábitos saludables	Todas las patologías
<b>Guía salud</b>	Profesionales	Gratuita	Informativa	Informativa	Todas las patologías
<b>Headache Diary</b>	Pacientes y familiares	Pago	Diario de dolor	Valoración	Dolor de cabeza o migraña
<b>Human Anatomy Atlas 3D. Visible body</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Informativa	Todas las patologías
<b>ICTUS</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Información sobre una patología	Específica	ICTUS
<b>ICTUS care</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Tratamiento y entendimiento de una patología	Específica	ICTUS
<b>IDoctus</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Informativa	Todas las patologías
<b>INeuro</b>	Profesionales	Pago	Informativa	Informativa	Todas las patologías
<b>IPediatric</b>	Pacientes y familiares	Pago	Informativa	Informativa	Todas las patologías
<b>ISecuencias</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Pago	Mejora hábitos de vida (Aprendizaje)	Hábitos saludables	Todas las patologías
<b>Kinedu</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Estimulación Temprana	Tratamiento	Retraso global del desarrollo
<b>LetMeTalk: Talker SAAC, CAA, SAC</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Mejora la comunicación	Tratamiento (Logopedia)	Alteraciones cognitivas
<b>Lift Pulse</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Registro de datos de movimiento	Valoración	Parkinson
<b>Lists To Do</b>	Pacientes y familiares	Pago	Mejora hábitos de vida	Hábitos saludables	Todas las patologías

<b>ListenMee App</b>	Pacientes y familiares	Pago	Mejora de la marcha mediante estímulos	Tratamiento	Parkinson
<b>Medisafe</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Recordatorio medicación	Hábitos saludables	Todas las patologías
<b>Medscape</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Informativa	Todas las patologías
<b>Mememtum</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Pago	Herramientas de trabajo	Valoración y Trat. (Físico)	Parkinson
<b>Memento</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Trabajo de la memoria	Tratamiento (Cognitiva)	Alteraciones cognitivas
<b>Metrófono</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Tratamiento	Parkinson
<b>Migrapp</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Diario de dolor	Valoración	Dolor de cabeza o migraña
<b>MindMate</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Información y ejercicios sobre la patología	Informativa y Tratamiento	Alzheimer y demencia
<b>Mirror Therapy</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Pago	Herramienta de trabajo. Terapia en espejo	Tratamiento	Todas las patologías
<b>Mobile MIM</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>MSAA Self Care Manager</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Información sobre una patología	Específica	Esclerosis múltiple
<b>MS Diagnosis</b>	Profesionales	Gratuita	Herramienta de valoración	Valoración	Esclerosis múltiple
<b>MS Diagnosis and Management</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Información y ejercicios sobre la patología	Específica y tratamiento	Esclerosis múltiple

<b>Multiple Esclerosis</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Información y ejercicios para pacientes con EM	Específica y tratamiento	Esclerosis múltiple
<b>Muscle Premium</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Informativa	Todas las patologías
<b>Muscular Dystrophy Info</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Información sobre una patología	Específica	Distrofia Muscular
<b>MyMigraines</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Herramientas de trabajo	Valoración	Migrañas
<b>MyPhysio</b>	Profesionales	Gratuita	Informativa	Tratamiento	Todas las patologías
<b>My Pain Diary (Mi Diario de Dolor)</b>	Pacientes y familiares	Pago	Diario de dolor	Valoración	Todas las patologías
<b>Neuro Attention</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Trabajo de la memoria	Tratamiento (Cognitiva)	Todas las patologías
<b>Neuro Rehab</b>	Profesionales	Gratuita	Informativa	Informativa	Todas las patologías
<b>Neuro RHB</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Información y ejercicios para pacientes con Daño cerebral	Específica y tratamiento	Daño cerebral
<b>NeuroMind</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Informativa y valoración	Todas las patologías
<b>NeuroNation-ejercicio cerebral</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Trabajo de la memoria	Tratamiento (Cognitiva)	Todas las patologías
<b>NeuroScores</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>Nicke+Running</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Mejora hábitos de vida	Hábitos saludables	Todas las patologías
<b>Occupational Therapy</b>	Profesionales	Gratuita	Actividades terapéuticas	Informativa y Tratamiento	Todas las patologías

<b>Pudmed</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Informativa	Todas las patologías
<b>Paralísia facial</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Tratamiento y entendimiento de una patología	Específica	Parálisis facial
<b>Parent Project Muscular Dystrophy (PPMD)</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Información sobre una patología	Específica	Distrofia Muscular
<b>Parkinson Enfermedad</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Información de investigaciones	Específica	Parkinson
<b>Parkinson exercises</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Pago	Tratamiento y entendimiento de una patología	Específica	Parkinson
<b>PhysioAdvisor Exercises</b>	Profesionales	Pago	Informativa	Tratamiento	Todas las patologías
<b>Physiotherapy Exercises</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Informativa y Trat. (Físico)	Todas las patologías
<b>Posture: Screen mobile</b>	Profesionales	Pago	Herramientas de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>Prognosis</b>	Profesionales	Gratuita	Informativa	Informativa	Todas las patologías
<b>Rancho Gait</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>Recognise Hands</b>	Profesionales	Pago	Herramientas de trabajo	Tratamiento	Todas las patologías
<b>SAAC. Comunicación. Autismo.</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Mejora hábitos de vida (Comunicación)	Tratamiento (Logopedia)	Alteraciones cognitivas
<b>Spaced Retrieval Therapy</b>	Pacientes y familiares	Pago	Ejercicios memoria	Tratamiento (Cognitiva)	Alteraciones cognitivas
<b>Spina Bífida</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Tratamiento y entendimiento de una patología	Específica	Espina bífida

<b>Stretch Exercises</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Mejora hábitos de vida (Ejercicio)	Informat. y hábitos saludables	Todas las patologías
<b>Stroke Patient</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Información sobre la patología	Específica	Daño cerebral
<b>Testes Ortopédicos</b>	Profesionales	Gratuita	Pruebas ortopédicas	Valoración	Todas las patologías
<b>TF: Mesa luminosa</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>Timer+</b>	Profesionales	Gratuita	Herramientas de trabajo	Valoración	Todas las patologías
<b>Tweri</b>	Pacientes y familiares	Gratuita	Ayuda para la localización	Hábitos saludables	Todas las patologías
<b>Universal Doctor Speaker</b>	Pacientes, familiares y profesionales	Gratuita	Traductor médico	Valoración	Todas las patologías
<b>3D Brain</b>	Profesionales	Gratuita	Informativa	Informativa	Todas las patologías

\* Las aplicaciones marcadas con gris son las pertenecientes a la búsqueda bibliográfica en las bases de datos.

\*\* Las aplicaciones en color blanco se han obtenido de otras fuentes de información.

**COMUNICACIONES  
CIENTÍFICAS**

# Práctica digital en fisioterapia durante el confinamiento por COVID-19

---

**Patricia Martín Casas.** Profesora Contratada Doctora.

Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología. Universidad Complutense de Madrid.

**José Javier López Marcos.** Profesor Asociado.

Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología. Universidad Complutense de Madrid.

**Adrián Arranz Escudero.** Fisioterapeuta.

Asociación de Parkinson de Madrid

**Guillermo Ceniza Bordallo.** Estudiante de Doctorado.

Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología. Universidad Complutense de Madrid.

**Almudena Sanz Leal.** Fisioterapeuta.

Residencia Tercera Edad CAM.

**Paloma Moreta de Esteban.** Profesora Asociada.

Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología. Universidad Complutense de Madrid.

---

**Introducción:** La pandemia por Covid-19 generó que muchos pacientes vieran cancelados sus tratamientos de fisioterapia<sup>(1)</sup>, por lo que se puso en marcha un servicio gratuito de práctica digital atendido por fisioterapeutas y estudiantes voluntarios vinculados a la Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología de la Universidad Complutense de Madrid.

**Objetivo:** Describir los pacientes atendidos durante el confinamiento por Covid-19 y su satisfacción.

**Material y métodos:** 6 fisioterapeutas y 8 alumnos de último curso activaron un servicio de práctica digital en fisioterapia para pacientes que hubieran interrumpido su tratamiento o requiriesen atención por dificultades surgidas durante el confinamiento. Se cumplieron los requisitos internacionales propuestos por la Confederación Mundial de Fisioterapia (WCPT) para la práctica de fisioterapia a distancia<sup>(2)</sup>. De forma telemática, tras una primera valoración se propusieron recomendaciones y sesiones de seguimiento basadas en las guías de práctica clínica más actuales (<https://guiasclinicasfisioterapia.com/>).

**Resultados:** Entre el mes de abril y junio de 2020, 49 pacientes (57% mujeres) utilizaron el servicio, por diversos motivos de consulta (Gráfico 1). El 73,4% no había realizado antes una consulta digital en salud y el 90% nunca había requerido fisioterapia. 19 pacientes (39%) cumplieron la encuesta de satisfacción; el 68,4% consideraron que recibieron un tiempo de sesión adecuado, el 73,7% que las pautas fueron claras y bien explicadas y el 84,2% que recibieron un trato respetuoso. En conjunto, el 84% mostraron una satisfacción positiva y el 79% volvería a utilizar el servicio de práctica digital en fisioterapia.

Los resultados fueron óptimos en cuanto a la aceptación y satisfacción con la práctica digital en fisioterapia, similares a los obtenidos en trabajos recientes con poblaciones similares<sup>(3-5)</sup>, con valores de satisfacción global de los pacientes muy prometedores. También otros servicios de fisioterapia digital durante el confinamiento por COVID-19 han mostrado una alta calidad asistencial y la mejora en la calidad de la vida diaria de los pacientes que requieren este servicio<sup>(6)</sup>. Son necesarios más estudios que sobre esta modalidad de fisioterapia y su comparación con la actuación presencial.

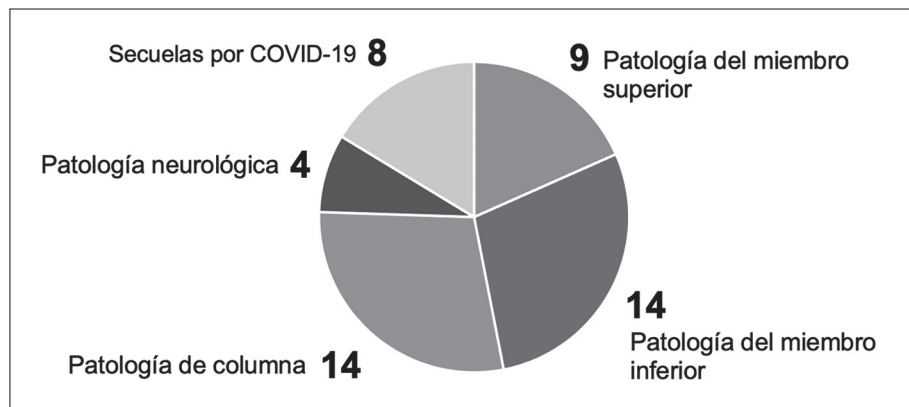


Gráfico 1. Distribución de pacientes atendidos según su motivo de consulta.

**Conclusiones:** La práctica digital en fisioterapia resultó una herramienta satisfactoria durante el confinamiento por Covid-19.

Palabras clave: telemedicina; fisioterapia; tele-rehabilitación; satisfacción del paciente; COVID-19.

**Key words:** telemedicine; physical therapy treatment; telerehabilitation; satisfacción del paciente; COVID-19.

#### Referencias bibliográficas:

1. World Physiotherapy. The impact of COVID-19 on fragile health systems and vulnerable communities [Internet]. London, United Kingdom. [Consultado 14 Dic 2020]. Disponible en: <https://world.physio/covid-19-information-hub/covid-19-briefing-papers>
2. World Confederation for Physical Therapy and the International Network of Physiotherapy Regulatory Authorities. Report of the WCPT/INPTRA Digital Physical Therapy Practice Task Force [Internet]. Mayo 2019 [Consultado 20 Marzo 2020]. Disponible en: [http://www.inptra.org/portals/0/pdfs/ReportOfTheWCPTINPTRA\\_DigitalPhysicalTherapyPractice\\_TaskForce.pdf](http://www.inptra.org/portals/0/pdfs/ReportOfTheWCPTINPTRA_DigitalPhysicalTherapyPractice_TaskForce.pdf)
3. Grona SL, Bath B, Busch A, Rotter T, Trask C, Harrison E. Use of videoconferencing for physical therapy in people with musculoskeletal conditions: A systematic review. J Telemedicine Telecare [Internet]. 2018;24(5):341–55. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1357633X17700781>

4. Chughtai M, Kelly JJ, Newman JM, Sultan AA, Khlopas A, Sodhi N, et al. The Role of Virtual Rehabilitation in Total and Unicompartmental Knee Arthroplasty. J Knee Surg [Internet]. 2019;32(1):105-10. Disponible en: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0038-1637018>

5. Amorim AB, Pappas E, Simic M, Ferreira ML, Jennings M, Tiedemann A, et al. Integrating Mobile-health, health coaching, and physical activity to reduce the burden of chronic low back pain trial (IMPACT): a pilot randomised controlled trial. BMC Musculoskelet Disord [Internet]. 2019;20(1):71. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6371593/>

6. Tenforde AS, Borgstrom H, Polich G, Steere H, Davis IS, Cotton K, et al. Outpatient Physical, Occupational, and Speech Therapy Synchronous Telemedicine: A Survey Study of Patient Satisfaction with Virtual Visits During the COVID-19 Pandemic. Am J Phys Med Rehabil [Internet]. 2020;99(11):977-81. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7526401/>

# Efectividad del ejercicio aeróbico mediante telerrehabilitación en pacientes con fibromialgia en periodo de COVID-19

**Ignacio Hernando Garijo.** *Fisioterapeuta.*

**Sandra Jiménez del Barrio.** *Fisioterapeuta.*

**María Teresa Mingo Gómez.** *Fisioterapeuta.*

**Luis Ceballos Laita.** *Fisioterapeuta.*

**Ricardo Medrano de la Fuente.** *Fisioterapeuta.*

*Universidad de Valladolid y Facultad de Ciencias de la Salud de Soria.*

**Introducción:** La fibromialgia es la causa más común de dolor musculoesquelético generalizado y afecta a un 2,1% de la población mundial<sup>(1)</sup>. En marzo de 2021, la COVID-19 fue declarada pandemia mundial y muchos países adoptaron medidas que implicaron el confinamiento domiciliario y el distanciamiento social<sup>(2)</sup>. En este contexto, los pacientes con fibromialgia son una población susceptible a la exacerbación de los síntomas y al desarrollo de alteraciones psicológicas. Es conveniente diseñar terapias que incluyan la comunicación con el paciente y el ejercicio en pacientes con fibromialgia durante este periodo<sup>(3)</sup>.

**Objetivo:** Analizar los efectos del ejercicio aeróbico mediante telerrehabilitación en pacientes con fibromialgia sobre la intensidad del dolor, la discapacidad, y el estado psicológico durante la pandemia de la COVID-19.

**Material y métodos o Descripción del caso:** Se realizó un ensayo clínico simple ciego. Veintiocho pacientes con fibromialgia fueron aleatorizados al grupo experimental, que realizó un programa de ejercicio aeróbico, o al grupo control, que no recibió intervención. La intervención duró 15 semanas y el grupo experimental realizó 2 sesiones por semana. El programa de ejercicios fue guiado mediante vídeo y su intensidad se reguló mediante la escala de Esfuerzo Percibido de Borg Modificada. Se contactó con los participantes por videollamada semanalmente, para monitorizar y adaptar los ejercicios. La intensidad del dolor (escala visual analógica), la discapacidad (Cuestionario de Impacto de la Fibromialgia) y el estado psicológico (Escala de Ansiedad y Depresión Hospitalaria) se midieron antes y después de la intervención.

**Resultados:** Después de la intervención, se observó una interacción Grupo x Tiempo significativa en la intensidad del dolor ( $p=0.021$ ,  $ES=0.8$ ) y el estado psicológico ( $p=0.002$ ,  $ES=1.0$ ). El grupo experimental mostró mayor disminución del dolor y del nivel de ansiedad y depresión que el grupo control.

La comparación intra-grupo mostró que el grupo experimental mejoró en todas las variables después de la intervención ( $p<0.05$ ). El grupo control no mostró diferencias significativas en ninguna variable después de la intervención ( $p>0.05$ ).

	Pre-intervención Media $\pm$ DT	Post-intervención Media $\pm$ DT	Intra-grupo Valores p	Entre grupos Valores p
Escala visual analógica				
Grupo experimental	7.08 $\pm$ 1.45	4.92 $\pm$ 2.00	<0.001	0.021
Grupo control	7.29 $\pm$ 1.07	6.46 $\pm$ 1.92	0.058	
Cuestionario de impacto de la fibromialgia				
Grupo experimental	59.44 $\pm$ 9.04	44.00 $\pm$ 15.21	0.001	0.254
Grupo control	55.36 $\pm$ 16.46	46.90 $\pm$ 20.47	0.104	
Escala de ansiedad y depression hospitalaria				
Grupo experimental	20.52 $\pm$ 6.83	11.70 $\pm$ 8.74	0.004	0.002
Grupo control	20.43 $\pm$ 8.37	21.25 $\pm$ 9.42	0.321	

**Tabla 1.** Datos de las variables de estudio antes y después de la intervención, así como los resultados de la comparación intra-grupo y entre grupos

**Conclusiones:** El ejercicio aeróbico basado en telerrehabilitación ha mejorado la intensidad del dolor y el estado psicológico en los pacientes con fibromialgia durante la pandemia de la COVID-19.

**Palabras clave:** fibromyalgia, chronic pain, exercise, telemedicine.

## Referencias bibliográficas:

1. Cabo-Meseguer A, Cerdá-Olmedo G, Trillo-Mata JL. Fibromyalgia: Prevalence, epidemiologic profiles and economic costs. *Med Clínica (English Ed)*. 2017 Nov;149(10):441–8.
2. World Health Organization. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19. 2020.
3. Mohabbat AB, Mohabbat NML, Wight EC. Fibromyalgia and Chronic Fatigue Syndrome in the Age of COVID-19. *Mayo Clin Proc Innov Qual Outcomes*. 2020 Nov;4(6):764–6.

# Comparación del movimiento de la columna torácica entre sujetos con y sin dolor lumbar crónico

**Carlos Rivas Senra.** Fisioterapeuta.  
RC Deportivo de la Coruña.

**Beatriz Rodríguez Romero.** Profesora Titular de Universidad.  
Facultad de Fisioterapia de la Universidade da Coruña.

**Laura Santín Lourenço.** Fisioterapeuta.  
Quironsalud.A Coruña.

**Antía Abal Durán.** Fisioterapeuta.  
Sanae Fisioterapia.A Coruña.

**Carla Gallo Marcos.** Fisioterapeuta.  
Fisioterapia Sada

**Alejandro Alberto Quintela del Río.** Catedrático de Universidad.  
Departamento de Matemáticas de la Universidade da Coruña.

**Introducción:** El dolor lumbar crónico (DLC) es un problema mayor a lo largo del mundo<sup>(1)</sup>. Aunque la evidencia es limitada, se ha demostrado que sujetos con DLC presentan disfunciones en la cinemática y en el control motor de la región torácica<sup>(2)</sup>. El uso de complejos softwares informáticos es cada vez más frecuente para medir la cinemática espinal, pero en el ámbito clínico son prioritarias opciones precisas, pero más económicas<sup>(3)</sup>. A su vez, son escasos los estudios sobre la fiabilidad de los test que analizan la disociación del movimiento entre región torácica y lumbar<sup>(4)</sup>.

**Objetivo:** Determinar posibles diferencias entre sujetos con DLC vs sanos en cuanto a la cantidad/calidad de movimiento torácico; y determinar la fiabilidad interobservador para el test de disociación lumbopélvica-control toracolumbar entre fisioterapeutas nóveles y expertos. Determinar si el software libre Kinovea es válido para medir rango de movimiento en la columna torácica.

**Material y métodos:** Estudio piloto con diseño transversal en un grupo de sujetos con DLC y otro sin DLC, en los que se midió: (i) test distancia dedo-suelo (flexión e inclinaciones laterales)<sup>(5)</sup>; (ii) test Schober torácico<sup>(6)</sup>; (iii) test de disociación lumbopélvica-control toracolumbar<sup>(7)</sup>. Se utilizó el Software Kinovea para trazar trayectorias de movimiento torácico. Para analizar diferencias entre los dos grupos se aplicó t-Student, Mann-Whitney y X<sup>2</sup>; y para la fiabilidad interobservador, el coeficiente de correlación intraclass (ICC).

**Resultados:** Los dos grupos eran iguales para las variables sociodemográficas, nivel de actividad física, y salud general. Los sujetos con DLC presentaron una disminución en la flexión lateral torácica ( $p=0,04$ ), y peor puntuación en el test de control motor pero sin significación estadística. El ICC entre expertos fue de 0,7 (0,4-0,9) y entre noveles fue de 0,4 (0,3-0,7). El análisis de los datos con el software Kinovea supuso una serie de dificultades y limitaciones, tales como la imposibilidad de unir la trayectoria descrita por cada uno de los dos marcadores (localizados uno en T1 y otro en T12) mediante una línea curva que simulara la curvatura de la columna vertebral.

VARIABLE	Media total ± DT	Casos (n=11) Media ± DT	Controles (n=13) Media ± DT	P
<b>Test clínico de disociación lumbopélvica y control toracolumbar</b>				
Puntuación total	4,2 ± 1,5	3,8 ± 2,0	4,5 ± 0,8	0,24
<b>Test de distancia dedo-suelo hacia anterior (FFD)</b>				
	4,9 ± 11,8	6,2 ± 14,3	3,9 ± 9,7	0,64
<b>Test de distancia dedo-suelo hacia lateroflexiones (FFD-L)</b>				
Hacia la derecha	42,449 ± 7,0	45,5 ± 4,3	39,8 ± 7,9	0,04*
Hacia la izquierda	43,1 ± 7,9	46,6 ± 4,4	40,1 ± 9,03	0,04*
<b>Test Shober torácico</b>				
Hacia flexión	32,0 ± 1,0	31,9 ± 0,8	32,1 ± 1,1	0,60
Hacia extensión	27,7 ± 1,4	27,4 ± 1,6	27,9 ± 1,2	0,36

**Tabla 1:** Resultados de los test de movilidad y calidad de movimiento

**Conclusiones:** Los sujetos con DLC presentan una menor movilidad de lateroflexión torácica respecto a sujetos sin DLC. La fiabilidad interobservador del test de control motor toracolumbar es buena entre expertos y sólo regular entre noveles. El software Kinovea no permite la medición de ángulos en la columna torácica.

**Palabras clave:** Low back pain, thoracic vertebrae, articular range of motion, movement.

## Referencias bibliográficas:

- Hartvigsen J, Hancock MJ, Kongsted A, Louw Q, Ferreira ML, Genevay S, Hoy D, Karppinen J, Pransky G, Sieper J, Smeets RJ, Underwood M; Lancet Low Back Pain Series Working Group. What low back pain is and why we need to pay attention. *Lancet*. 2018;391(10137):2356-2367.
- Sadler SG, Spink MJ, Ho A, De Jonge XJ, Chuter VH. Restriction in lateral bending range of motion, lumbar lordosis, and hamstring flexibility predicts the development of low back pain: a systematic review of prospective cohort studies. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017;18(1):179

3. Quek J, Brauer S, Treleaven J, Clark R. The concurrent validity and intrarater reliability of the Microsoft Kinect to measure thoracic kyphosis. *International Journal of Rehabilitation Research*. Sep 2017, 40(3):279–284.

4. Christe G, Kade F, Jolles BM, Favre J. Chronic low back pain patients walk with locally altered spinal kinematics. *J Biomech*. 2017 Jul 26;60:211–218.

5. Robinson HS, Mengshoel AM. Assessments of Lumbar Flexion Range of Motion: intertester reliability and concurrent validity of 2 commonly used clinical tests. *Spine*, 2014 Feb 15;39(4):E270-5.

6. Herbert Frisch. *Método de Exploración del Aparato Locomotor y de La Postura*. 1ª. Paidotribo; 2005.

7. Elgueta-Cancino E, Schabrun S, Danneels L, Hodges P. A clinical test of lumbopelvic control: Development and reliability of a clinical test of dissociation of lumbopelvic and thoracolumbar motion. *Manual Therapy*. 2014;19:418–24.

## Efectividad clínica de las intervenciones digitales en la cervicalgia. Metaanálisis y búsqueda de herramientas accesibles

**Marcos José Navarro Santana.** *Fisioterapeuta.*  
Rehabilitación San Fernando.

**Raúl Medina Torres.** *Fisioterapeuta.*  
Centro Médico y de Rehabilitación Premium Madrid.

**Introducción:** El dolor de cuello es una condición musculoesquelética que produce una gran discapacidad e impacto socioeconómico. No se sabe con exactitud si las intervenciones digitales son efectivas para el tratamiento del dolor de cuello.

**Objetivo:** Determinar la efectividad de las intervenciones digitales en el dolor de cuello en comparación con un grupo control. Observar las herramientas actuales para realizar este tipo de intervenciones digitales en la práctica clínica habitual.

**Material y métodos:** Se realizó una revisión sistemática en diferentes bases de datos: PubMed, WOS y Scopus. Además, se realizó una búsqueda electrónica de aplicaciones y software para realizar intervenciones digitales. Para incluir los estudios en la revisión debían ser ensayos

Estudio	Diagnóstico	Grupo	Total, N (Hombre/ Mujer)	Edad (DE), años	Duración del dolor (DE)	Dolor al inicio (0-10)
Kosterink et al. 2010	Dolor de cuello y hombro	G1: Telerehabilitación	36	39.9 (12.4)	NR	39
		G2: Tratamiento habitual	35	37.6 (9.9)	NR	46
Hutting et al. 2015	Dolor de cuello y hombro	G1: Automanejo con telemedicina	64	44.98 (11.15)	>12 semanas	4.8
		G2: Tratamiento habitual	53	47.69 (10.50)	>12 semanas	4.76
Gialanella et al. 2016	Dolor de cuello	G1: Telemedicina en casa	47 (5/42)	56 (14.0)	68 (43) meses	6.76
		G2: Tratamiento habitual	47 (5/42)	60.1 (11.0)	89.2 (64) meses	6.51

NR: No reportado; DE: Desviación estándar; G: Grupo

**Tabla 1.** Características de la muestra de los estudios incluidos.

clínicos sobre dolor de cuello que compararan una intervención digital frente a otra intervención. Se realizó un metaanálisis multinivel para comparar el efecto de la intervención por el tiempo. La calidad metodológica se evaluó con la escala PEDro.

**Resultados:** Se obtuvieron 50 resultados en total, después de eliminar duplicados quedaron 28 y finalmente 3 fueron incluidos<sup>(1-3)</sup>. Las características de los estudios incluidos se muestran en la Tabla 1. No se observaron efectos en el dolor de la intervención por el tiempo estadísticamente significativos (modelo general: -0.13, ES=0.32, p=0.70) en comparación con el tratamiento habitual a los 3 (0.25 IC-95% -0.79 – 1.29, p=0.63, n=2 estudios), 6 (-0.64 IC-95% -1.45 – 0.16, p=0.11, n=3 estudios) y 12 meses (0.63 IC-95% -0.75 – 2.01, n=1 estudios) (Figura 1). Se encontraron 5 herramientas digitales para realizar este tipo de intervenciones, y fueron comparadas (Tabla 2). Dos artículos fueron de alta calidad y uno de baja calidad (Tabla 3.)

**Conclusiones:** Las intervenciones digitales son igual de efectivas que el tratamiento habitual en el dolor de cuello. Se necesitan más investigación para confirmar estos resultados. Existen herramientas gratuitas como Exeryou.com que permiten realizar este tipo de intervenciones durante la práctica clínica habitual.

**Palabras clave:** Neck Pain, Cervicalgia, Telerehabilitation, Telemedicine, Mobile Health

**Referencias bibliográficas:**

1. Kosterink, S. M., Huis in't Veld, R. M., Cagnie, B., Hasenbring, M., & Vollenbroek-Hutten, M. M. (2010). The clinical effectiveness of a myofeedback-based teletreatment service in patients with non-specific neck and shoulder pain: a randomized controlled trial. *Journal of Telemedicine and Telecare*. 6(6): 316-321.

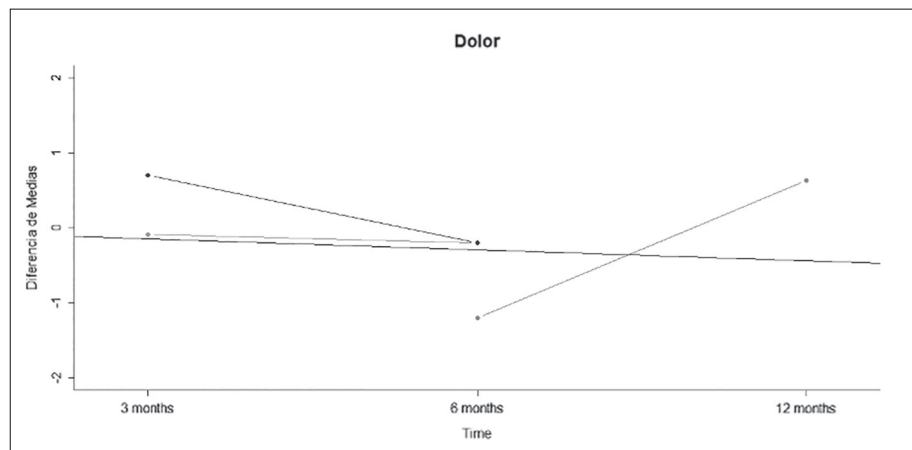


Figura 1. Muestra la diferencia de medias de cada estudio y su evolución con el tiempo (punto y líneas de diferentes colores). La línea negra muestra el modelo lineal predicho para los datos expuestos.

Nombre	Gratis	Ejercicios en video	Ejercicios en PDF	Verificar profesionalidad	Chat
Dudyfit	NO	SI	NO	NO	SI
Entrenamientos	NO	NO	SI	NO	NO
Exeryou	SI	SI	SI	SI	SI
Gomobilus	NO	NO	SI	NO	NO
Physitrack	NO	SI	SI	NO	SI

Tabla 2. Comparación herramientas digitales

Estudio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Kosterink et al. 2010	Y	N	Y	N	N/A	N	N	N	Y	Y	4
Hutting et al. 2015	Y	N	Y	N	N/A	N	N	Y	Y	Y	5
Gialanella et al. 2016	Y	N	Y	N	N/A	N	Y	N	Y	Y	5

1: Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos; 2: La asignación fue oculta; 3: Los grupos fueron similares al inicio; 4: Todos los sujetos fueron cegados; 5: Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados; 6: Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados; 7: Pérdidas de menos del 15%; 8: Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"; 9: Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave; 10: El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave.

Tabla 3. Evaluación de la calidad metodológica (PEDro)

2. Hutting, N., Staal, J. B., Engels, J. A., Heerkens, Y. F., Detaille, S. I., & Nijhuis-van der Sanden, M. W. (2015). Effect evaluation of a self-management programme for employees with complaints of the arm, neck or shoulder: a randomised controlled trial. *Occupational and Environmental Medicine*. 72(12): 852-861.

3. Gialanella, B., Etori, T., Faustini, S., Baratti, D., Bernocchi, P., Comini, L., & Scalvini, S. (2017). Home-based telemedicine in patients with chronic neck pain. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 96(5): 327-332.

# Aplicaciones móviles para el tratamiento de incontinencia urinaria en mujeres

**Alba Manzano Pérez.** *Fisioterapeuta.*  
*Clínica de Fisioterapia Lymphosalud. Ávila.*

**Introducción:** La incontinencia urinaria (IU) se define como la pérdida involuntaria de orina. Su prevalencia se estima muy variable, entre el 10 y el 35% en la población adulta femenina<sup>(1)</sup>. La primera barrera terapéutica en la literatura es el fortalecimiento de la musculatura del suelo pélvico y el cambio de estilo de vida<sup>(2)</sup>, con un alto porcentaje de éxito<sup>(3)</sup>. Este tipo de intervenciones son susceptibles de realizarse a distancia<sup>(4)</sup>. En la actualidad existen diferentes aplicaciones móviles (Apps)<sup>(2,5-8)</sup> para desarrollar el tratamiento a distancia.

**Objetivo:** El objetivo principal es conocer si el tratamiento de la IU se puede realizar a distancia con resultados positivos. Secundariamente se quiere conocer la calidad de la Apps que existen en el mercado y la evidencia científica detrás de ellas; conocer la expansión de uso de las aplicaciones y conocer la satisfacción y adherencia de los pacientes.

**Material y métodos:** Para la investigación se realizó una búsqueda sistemática en las principales bases de datos (PubMed EMBASE, PEDro y WOS) en Diciembre de 2020.

**Resultados:** se obtuvieron 8 artículos que cumplieran los criterios de inclusión. Entre los resultados nos encontramos con revisiones bibliográficas y ensayos clínicos aleatorizados.

**Conclusiones:** El tratamiento mediante una App de la IU es eficaz, presentando un gran ahorro de los costes. Las usuarias tienen cotas de satisfacción similares a la atención presencial. Falta reforzar la evidencia detrás de estas intervenciones y aumentar la población de estudio a diferentes grupos poblacionales.

**Palabras clave:** pelvic floor disorders, urinary incontinence, physical therapy modality, mobile health, telemedicine, telehealth.

## Referencias bibliográficas:

1. Sjöström M, Lindholm L, Samuelsson E. Mobile app for treatment of stress urinary incontinence: A cost-effectiveness analysis. *Journal of Medical Internet Research* [Internet]. 2017 May 1 [cited 2021 Jan 3];19(5):e154. Available from: <https://www.jmir.org/2017/5/e154/>
2. Goode PS, Markland AD, Echt K v., Slay L, Barnacastle S, Hale G, et al. A mobile telehealth program for behavioral treatment of urinary incontinence in women veterans: Development and pilot evaluation of MyHealtheBladder. *Neurourology and Urodynamics* [Internet]. 2020 Jan 27 [cited 2020 Dec 20];39(1):432–9. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/nau.24226>
3. Nyström E, Asklund I, Sjöström M, Stenlund H, Samuelsson E. Treatment of stress urinary incontinence with a mobile app: factors associated with success. *International Urogynecology Journal* [Internet]. 2018 Sep 1 [cited 2020 Dec 20];29(9):1325–33. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31326777/>

4. Risame Ueda da Mata K, Cristina Monica Costa R, dos Santos Monteiro Carbone É, Maria Gimenez M, Augusta Tezelli Bortolini M, Aquino Castro R, et al. Telehealth in the rehabilitation of female pelvic floor dysfunction: a systematic literature review. *International Urogynecology Journal* [Internet]. 2020; Available from: <https://doi.org/10.1007/s00192-020->

5. Latorre GFS, de Fraga R, Seleme MR, Mueller C v., Berghmans B. An ideal e-health system for pelvic floor muscle training adherence: Systematic review. *Neurourology and Urodynamics* [Internet]. 2019 Jan 1 [cited 2020 Dec 20];38(1):63–80. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/nau.23835>

6. Han MN, Grisales T, Sridhar A. Evaluation of a Mobile Application for Pelvic Floor Exercises. In: *Telemedicine and e-Health*. Mary Ann Liebert Inc.; 2019. p. 160–4.

7. Hoffman V, Söderström L, Samuelsson E. Self-management of stress urinary incontinence via a mobile app: two-year follow-up of a randomized controlled trial. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica* [Internet]. 2017 Oct 1 [cited 2020 Dec 20];96(10):1180–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31326777/>

8. Sjöström M, Umeffjord G, Stenlund H, Carlbring P, Andersson G, Samuelsson E. Internet-based treatment of stress urinary incontinence: 1- and 2-year results of a randomized controlled trial with a focus on pelvic floor muscle training. *BJU International* [Internet]. 2015 Dec 1 [cited 2020 Dec 20];116(6):955–64. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/261161/>

# La realidad virtual, una nueva herramienta de tratamiento en pacientes con accidente cerebrovascular

**Laura Ruiz Zapardiel.** Fisioterapeuta.

Fisiopilates Valdesalud

**Javier Álvarez González.** Fisioterapeuta.

Universidad Francisco de Vitoria.

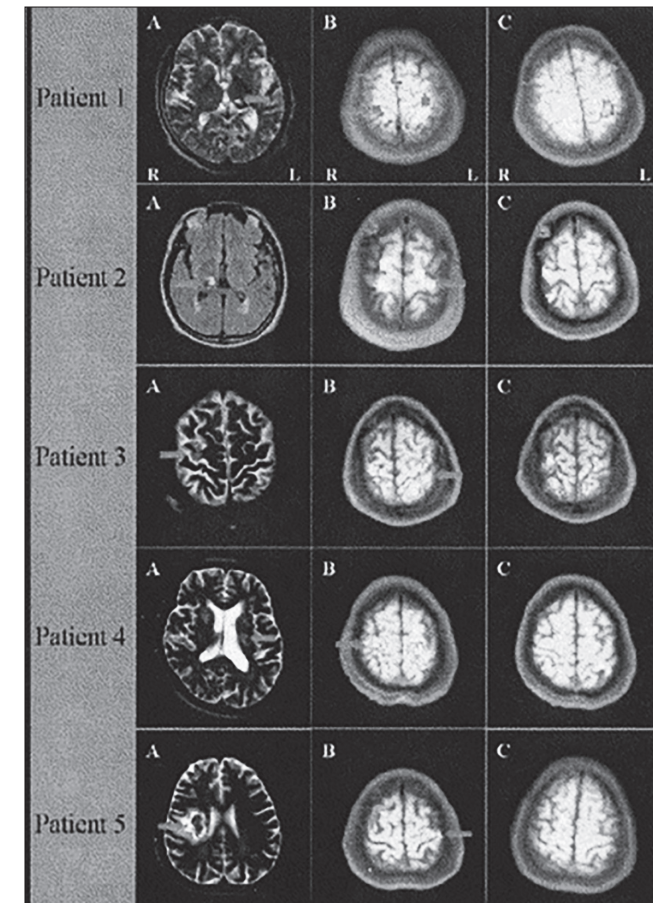
**Introducción:** El ictus o accidente cerebrovascular (ACV) es una de las principales causas de muerte y discapacidad en el mundo<sup>(1,2)</sup>. El avance de la tecnología aplicada a la práctica clínica en los últimos años, ha permitido la incorporación de la realidad virtual (RV) a la terapia convencional, ofreciendo altos niveles de participación, individualización, adhesión al tratamiento, mejoría anímica y de calidad de vida en pacientes con ACV<sup>(1,3,4)</sup>.

**Objetivo:** Describir el estado actual de la realidad virtual como método de tratamiento rehabilitador en pacientes con accidente cerebrovascular.

**Material y métodos:** Se realiza una búsqueda en la base de datos PubMed. Se revisan publicaciones a texto completo con análisis de RV, tipo de rehabilitación y descripción del ACV. Se incluyeron metaanálisis, revisiones sistemáticas y ensayos clínicos recientes de moderada y alta calidad, que abordaran la RV de tipo inmersiva como modalidad de intervención en adultos de más de 45 años con ACV.

**Resultados:** La RV facilita la aplicación de los principios básicos de rehabilitación (retroalimentación háptica, visual y auditiva; intensidad, frecuencia, dificultad y tareas específicas), provocando cambios tanto a nivel funcional cerebral, como en la lateralización interhemisférica y la plasticidad neuronal<sup>(1,5-7)</sup>. La RV inmersiva resulta ser la más efectiva ya que es capaz de simular entornos reales involucrando una gran cantidad de sentidos<sup>(1,4,8)</sup>. Es un método seguro, manejable, sencillo y accesible que ha demostrado tener efectos sobre la funcionalidad, dolor, velocidad, fuerza, equilibrio y coordinación del miembro superior e inferior; aunque el miembro superior sostenga la mayor evidencia; así como sobre la capacidad cognitiva, trastornos psicológicos y las actividades de la vida diaria (Fig.1)<sup>(1-9)</sup>. Su efectividad incrementa cuando se combina con técnicas convencionales y en fases tempranas de la enfermedad debido a los procesos de recuperación cerebral, aunque también lo es en etapas crónicas<sup>(3,5,6)</sup>.

**Conclusiones:** La RV se está abriendo paso como método rehabilitador en pacientes con ACV. Sin embargo, es necesaria más investigación, estudios con mayores muestras y equipos específicamente diseñados para uso clínico con el fin de establecer protocolos generales de intervención.



**Fig. 1:** Resonancia Magnética que muestra la actividad cerebral en las regiones de interés seleccionadas en pacientes con ACV antes, durante y después de recibir rehabilitación a través de RV. Antes del tratamiento, la actividad hemisférica se daba en las cortezas y áreas contralesionales o de forma bilateral. Tras el tratamiento solo se observó actividad en la corteza sensoriomotora primaria (SM1) ipsilesional. Algunos autores defienden que un aumento de la actividad en el hemisferio ipsilesional provoca un incremento de la recuperación funcional motora. A. Imagen morfológica de las lesiones vasculares. B. Activación inicial de la corteza sensoriomotora primaria (SM1) bilateral y contralesional. C. Actividad cerebral después del tratamiento con RV donde la activación bilateral y contralesional de la SM1 desaparece en todos los pacientes menos en el 3, que únicamente disminuye. Las flechas en la imagen A indican dónde se encuentra la lesión, y en la imagen B el lugar de activación. Extraído de Sung et al.<sup>(6)</sup>.

**Palabras clave:** (cerebral stroke [MeSH Terms]) AND (virtual reality [MeSH Terms]) AND (rehabilitation [MeSH Terms])

### Referencias bibliográficas:

1. Kim W-S, Cho S, Ku J, Kim Y, Lee K, Hwang H-J, et al. *Clinical Application of Virtual Reality for Upper Limb Motor Rehabilitation in Stroke: Review of Technologies and Clinical Evidence.* *J Clin Med.* 2020;9(10):3369.
2. Lohse KR, Hilderman CGE, Cheung KL, Tatla S, Van Der Loos HFM. *Virtual reality therapy for adults post-stroke: A systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy.* *PLoS One.* 2014;9(3).
3. 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 [Internet].* 2020; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.10.195>
4. Domínguez-Téllez P, Moral-Muñoz JA, Salazar A, Casado-Fernández E, Lucena-Antón D. *Game-Based Virtual Reality Interventions to Improve Upper Limb Motor Function and Quality of Life after Stroke: Systematic Review and Meta-analysis.* *Games Health J.* 2020;9(1):1–10.
5. Mekbib DB, Han J, Zhang L, Fang S, Jiang H, Zhu J, et al. *Virtual reality therapy for upper limb rehabilitation in patients with stroke: a meta-analysis of randomized clinical trials.* *Brain Inj [Internet].* 2020;34(4):456–65. Available from: <https://doi.org/10.1080/02699052.2020.1725126>
6. Sung HJ, You SH, Hallett M, Yun WC, Park CM, Cho SH, et al. *Cortical reorganization and associated functional motor recovery after virtual reality in patients with chronic stroke: An experimenter-blind preliminary study.* *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(11):2218–23.
7. Lee HS, Park YJ, Park SW. *The effects of virtual reality training on function in chronic stroke patients: A systematic review and meta-analysis.* *Biomed Res Int.* 2019;2019.
8. Huang Q, Wu W, Chen X, Wu B, Wu L, Huang X, et al. *Evaluating the effect and mechanism of upper limb motor function recovery induced by immersive virtual-reality-based rehabilitation for subacute stroke subjects: Study protocol for a randomized controlled trial.* *Trials.* 2019;20(1):1–9.

## Viabilidad de un programa de telerrehabilitación en pacientes cardíacos de bajo riesgo en Melilla

**Rocío Fernández Navarro.** Profesora de Fisioterapia. Universidad de Granada. Campus de Melilla.

**José Manuel Pastora Bernal.** Profesor Ayudante Doctor. Universidad de Granada. Campus de Melilla.

**Rocío Martín Valero.** Profesor Ayudante Doctor. Universidad de Málaga.

**Jorge Moreno López.** Jefe Servicio Rehabilitación. Hospital Comarcal de Melilla.

**María José Estébanez Pérez.** Fisioterapeuta. Rehabilitación Costa del Sol (Fuengirola- Málaga).

**Introducción:** Los programas de Telerrehabilitación han demostrado su efectividad, validez y presentado importantes ventajas en pacientes con afecciones cardíacas. La Telerrehabilitación cardíaca (TRC) ha demostrado ser tan efectiva como la rehabilitación cardíaca en el entorno hospitalario y en el hogar en términos de capacidad de ejercicio y calidad de vida, ser costo-efectiva y mejorar la satisfacción y adherencia de los pacientes, pero su implantación en el entorno sanitario público y privado es aún escasa y limitada por lo que el diseño de estudios de implantación y viabilidad está justificado.

**Objetivo:** Evaluar la viabilidad y efectividad de un programa personalizado de telerrehabilitación de 8 semanas en pacientes cardíacos de bajo riesgo en el Hospital de Melilla. Evaluar la satisfacción y percepción de los pacientes, la presencia de barreras para su implantación, el coste-efectividad y la adherencia.

**Material y métodos o Descripción del caso:** Protocolo de estudio para un diseño Cuasi-Experimental Pre/Post en el Hospital Comarcal de Melilla con medición de variables bioquímicas, función cardíaca, calidad de vida, capacidad funcional, Satisfacción y Usabilidad, Costes y Adherencia. Intervención a través de aplicación web y móvil que permite generar vídeos, imágenes y parámetros de cada ejercicio describiendo el número de repeticiones, el nivel de entrenamiento y los criterios de progresión instruyendo a los pacientes en el uso de la Escala de Borg Modificada.

**Resultados:** El estudio se encuentra en fase de captación de pacientes y primeras intervenciones en formato demo en espera de aprobación del comité de ética de la investigación de Andalucía. Las particularidades de la población residente en Melilla invitan al análisis sobre las posibles diferencias en los resultados de las variables de estudio. A diferencia de otros estudios

que requieren implantaciones de software en dispositivos concretos, nuestra intervención genera pocos obstáculos al estar disponible en cualquier dispositivo que permita la conexión a internet y que los pacientes habitualmente tienen (PC, portátil, Tablet, Smartphone).

**Conclusiones:** Esta investigación aporta conocimientos sobre metodología de investigación para implementar programas de TRC en el ámbito hospitalario, identificando resultados clínicos, recursos sanitarios y costes asignados que permitan definir nuevas políticas de intervención en este grupo de pacientes.

**Palabras clave:** Telerrehabilitación, Fisioterapia, Enfermedades Cardíacas, Telemedicina, Coste- Efectividad.

### Referencias bibliográficas:

1. Mensah GA, Wei GS, Sorlie PD, Fine LJ, Rosenberg Y, Kaufmann PG, et al. Decline in Cardiovascular Mortality: Possible Causes and Implications. Vol. 120, *Circulation Research*. Lippincott Williams and Wilkins; 2017. p. 366–80.ç
2. Piotrowicz E, Piotrowicz R. Cardiac telerehabilitation: Current situation and future challenges. *Eur J Prev Cardiol*. 2013 Jun;20(2):12–6.
3. Kotseva K, Wood D, De Backer G, De Bacquer D. Use and effects of cardiac rehabilitation in patients with coronary heart disease: Results from the EUROASPIRE III survey. Vol. 20, *European Journal of Preventive Cardiology*. 2013. p. 817–26
4. WHO | The world health report 2002 - Reducing Risks, Promoting Healthy Life. WHO. 2013
5. Russell TG. Physical rehabilitation using telemedicine. *J Telemed Telecare*. 2007;13(5):217–20.
6. Seelman KD, Hartman LM. Telerehabilitation: Policy Issues and Research Tools. *Int J Telerehabilitation*. 2009;1(1):47–58.
7. Demiris G, Speedie S FS. An instrument for the assessment of patients' impressions of the risks and benefits of home telecare. *J Telemed Telecare* 2000;6:278–284
8. Glick HA, Doshi JA, Sonnad SS PD. *Economic Evaluation in Clinical Trials*. 2nd edition. Oxford, UK: Oxford University Press; 2014. 2014. 1–272 p.

## ¿Mejora la Realidad Virtual los indicadores de salud en el superviviente con cáncer? Revisión sistemática

**Sebastián Martín Pérez.** Profesor.  
Universidad Europea de Canarias.

**María José Tejera Tejera.** Fisioterapeuta.  
Centro Privado

**Lucía Vigara Devora.** Fisioterapeuta.  
Hospital Privado.

**Introducción:** Los tratamientos relacionados con el cáncer implican un importante deterioro del rendimiento físico y del estado psicológico. Las tecnologías podrían ser una alternativa no farmacológica eficaz para tratar los efectos secundarios a medio-largo plazo<sup>(1)</sup>. La Realidad Virtual (RV) podría mejorarlos a través de un entorno interactivo e inmersivo enfocado en estrategias emocionales-afectivas, cognitivas y atencionales<sup>(2,3,4)</sup>.

**Objetivo:** Actualizar la evidencia actual la eficacia de la RV para tratar alteraciones físicas y psicológicas relacionadas con el cáncer.

**Método:** Se realizó una revisión sistemática siguiendo la declaración PRISMA con los términos MeSH “Virtual Reality Exposure Therapy”, “Cancer pain” and “Cancer survivors” y “Neoplasm” combinados con booleanos AND/OR en MEDLINE (PubMed), CINAHL, EMBASE, PEDro Database y TripDatabase entre noviembre y diciembre de 2020.

Los criterios de elegibilidad fueron: (1) ensayos clínicos aleatorios (ECAS) o ensayos clínicos no aleatorios (ENAS) (2) publicados entre 2000 y 2020 donde (3) los participantes fueran diagnosticados o en tratamiento de cáncer (4) e incluyeran al menos un resultado de función física, variables psicológicas, funcionalidad y/o calidad de vida. La evaluación de la calidad metodológica y el riesgo de sesgo de los ECAS y ENAS se realizó de forma ciega e independiente con la escala PEDro y la herramienta ROB 2.0 y la escala NOS y la herramienta ROBINS-I, respectivamente.

**Resultados:** Se seleccionaron 9 artículos (6 ECAS y 3 ENAS; n=352; 108 hombres, 244 mujeres) con una fiabilidad inter-evaluadores moderada ( $\kappa=0,52$ ). La evidencia de buena calidad y el riesgo moderado de sesgo sugieren que la VR reduce el dolor (5, n=233), la fatiga (5, n=284) y la ansiedad (5, n=237). La evidencia de baja calidad y el riesgo moderado de sesgo indican mejoras en la funcionalidad física (2, n=19) y la funcionalidad psicosocial (1, n=16).

**Conclusión:** La RV parece tener un impacto positivo en reducir el dolor y síntomas psicológicos y promover la funcionalidad en pacientes con cáncer. Sin embargo, la alta heterogeneidad de diagnósticos y tratamientos requieren ECAS de calidad para definir su implementación en la atención oncológica no farmacológica.

**Palabras clave:** Realidad Virtual, dolor, cancer, ansiedad, actividades cotidianas

**Referencias bibliográficas:**

1. Schneider, S. M., Kisby, C. K., & Flint, E. P. Effect of virtual reality on time perception in patients receiving chemotherapy. *Support Care Cancer* 2011; 19(4), 555–564.
2. House G, Burdea G, Grampurohit N, Polistico K, Roll D, Damiani F, Hundal J, Demesmin D A feasibility study to determine the benefits of upper extremity virtual rehabilitation therapy for coping with chronic pain post-cancer surgery. *Br J Pain* 2016 Nov; 10(4):186-197
3. Chirico A, Maiorano P, Indovina P, Milanese C, Giordano GG, Alivernini F, Iodice G, Gallo L, De Pietro G, Lucidi F, Botti G, De Laurentiis M, Giordano A. Virtual reality and music therapy as distraction interventions to alleviate anxiety and improve mood states in breast cancer patients during chemotherapy. *J Cell Physiol* 2020 Jun; 235(6):5353-5362.
4. Bani Mohammad E, Ahmad M Virtual reality as a distraction technique for pain and anxiety among patients with breast cancer: A randomized control trial. *Palliat Support Care* 2019 Feb; 17(1):29-34.

## Validación del goniómetro hawk como sistema de medición articular para la articulación glenohumeral

**Sagrario Pérez de la Cruz.** Doctora en Fisioterapia.  
Universidad de Almería.

**Óscar Arellano de León.** Oficial de Policía.  
Escuela Nacional de Policía.

**Antonio Vargas Rodríguez.** Inspector Jefe Departamento de Cultura Física.  
Escuela Nacional de Policía.

**Introducción:** La evaluación del rango de movimiento del hombro es muy importante e igualmente relevante para monitorizar la respuesta al tratamiento o a la práctica de deporte.

**Objetivo:** Establecer la validez del sistema de medición externo independiente del goniómetro Hawk frente al goniómetro universal para la medición del rango de movimiento del hombro en adultos sanos.

**Material y métodos:** Estudio de medición clínica (confiabilidad y validez) utilizando la repetición de dos sistemas (goniómetro Hawk y goniómetro universal), con 157 estudiantes voluntarios sanos. Principales medidas de resultado: la flexión- extensión del hombro, la abducción- aducción, la rotación interna y externa fueron evaluadas por el mismo evaluador. Se utilizó la media de tres repeticiones para cada movimiento. Para cuantificar la fiabilidad de las mediciones asociadas a las variables cuantitativas, se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) para evaluar la concordancia entre los instrumentos utilizados en la medición, así como en el observador que realizó las mediciones.

**Resultados:** Las pruebas mostraron una relación muy fuerte entre las lecturas de ambos dispositivos (IC entre 0,81 y 0,99) y no hubo diferencias significativas entre las lecturas medias de ambos dispositivos. Se obtuvo un coeficiente de correlación intraclase (CCI) superior a 0,9, lo que indica una alta fiabilidad intraevaluador del goniómetro Hawk en mediciones repetidas del rango de movimiento del hombro.

**Conclusiones:** Los resultados obtenidos con el goniómetro Hawk tienen valores ligeramente más precisos que los obtenidos con el goniómetro universal, lo que hace que se pueda decantar el evaluador por esta primera opción como sistema de medición de los pacientes. El goniómetro Hawk es un elemento válido y confiable para la medición objetiva del rango de movimiento en la articulación del hombro. Y son necesarios más estudios para verificar el uso de este dispositivo en otras estructuras articulares.

**Palabras clave:** Hawk goniometer; universal goniometer; range of motion, assessment, shoulder.

### Referencias bibliográficas:

1. Milanese, S., Gordon, S., Buettner, P., Flavell, C., Rushton, S., Coe, D., McCormack, S. Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians. *Manual therapy*. 2014; 19(6): 569-574.
2. Ockendon M, Gilbert RE. Validation of a novel smartphone accelerometer-based knee goniometer. *J Knee Surg*. 2012; 25 (4):341-45.
3. Mullaney, M. J., McHugh, M. P., Johnson, C. P., Tyler, T. F. Reliability of shoulder range of motion comparing a goniometer to a digital level. *Physiotherapy theory and practice*. 2010; 26(5): 327-333.
4. Correll S, Field J, Hutchinson H, Mickevicius G, Fitzsimmons A, Smoot B. Reliability and validity of the halo digital goniometer for shoulder range of motion in healthy subjects. *Int J Sports Phys Ther*. 2018; 13(4):707-714.
5. Huberman C, Scales M, Vallabhajosula S. Shoulder Range of Motion and Strength Characteristics in Circus Acrobats. *Med Probl Perform Art*. 2020; 35(3): 145-152.
6. Johnson LB, Sumner S, Duong T, Yan P, Bajcsy R, Abresch RT, et al. Validity and reliability of smartphone magnetometer-based goniometer evaluation of shoulder abduction - A pilot study. *Man Ther*. 2015; 20: 777-82.
7. Muaremi A, Walsh L, Stanton T, Schieker M, Clay I. Digital ROM: Development and validation of a system for assessment of shoulder range of motion. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2019; 2019: 5498-5501.
8. Couto Amorin H, Cadilha R, Santoalha J, Rocha A, Parada F. Digital Versus Classic Goniometry in Shoulder Motion Evaluation: An Agreement Pilot Study. *Revista da Sociedade Portuguesa de Medicina Física e de Reabilitação*. 2017; 29 (1): 27- 32.

## Beneficios de la realidad virtual en niños y adolescentes con parálisis cerebral

**Rodrigo Bertoletti Rodríguez.** Fisioterapeuta

Departamento de Biomecánica GESEME y Clínicas Dentales Dra. Diez Arauz

**Silvia Dittami Gómez.** Fisioterapeuta.

Kiné Rehabilitación S.L

**Carmen Matey Rodríguez.** Profesora del Departamento de Ciencias de la Salud.

Universidad Europea Miguel de Cervantes.

**Introducción:** La parálisis cerebral (PC) es la causa más frecuente de discapacidad motora en la edad pediátrica y el principal motivo de discapacidad física grave que persiste toda la vida. Se atribuye a alteraciones no progresivas que ocurren en el cerebro inmaduro durante el desarrollo del feto o durante los primeros años de vida, causando un conjunto de alteraciones del movimiento y de la postura de carácter persistente y como consecuencia limitando la actividad y la función<sup>(1)</sup>. En España la prevalencia es de 2 casos por cada 1000 recién nacidos vivos<sup>(2)</sup>.

La realidad virtual (RV) es un entorno interactivo para todo el cuerpo, en el que las personas pueden sumergirse físicamente en un mundo virtual<sup>(3)</sup>. La rehabilitación a través de la RV es una terapia en auge que puede ayudar a mejorar las habilidades motoras, sensoriales y funcionales de los niños y adolescentes con PC<sup>(4)</sup>.

**Objetivo:** Analizar los posibles beneficios de la rehabilitación combinada con RV en niños y adolescentes con PC.

**Material y métodos:** La última fecha de búsqueda de la información se ha llevado a cabo el 28/10/2020, mediante la base de datos de ciencias de la salud PubMed, incluyendo la siguiente combinación de términos: (("Virtual Reality"[Mesh]) AND "Cerebral Palsy"[Mesh]) AND ("Physiotherapy" OR "Rehabilitation"[Mesh]). Como criterios de inclusión hemos seleccionado artículos publicados en los últimos 10 años cuya muestra sean niños o adolescentes con PC.

**Resultados:** La rehabilitación combinada con RV parece ser efectiva en el control postural, equilibrio y en habilidades motoras gruesas de los niños y adolescentes con PC<sup>(3-5)</sup>. Además, la RV puede ser complementaria al tratamiento, tanto en la funcionalidad de la mano<sup>(6)</sup>, como en la del miembro inferior<sup>(5)</sup>. Esta terapia puede ser un aliciente para lograr los objetivos físicos y funcionales de estos pacientes<sup>(5)</sup>.

**Conclusiones:** La RV es posible que aumente la motivación de los niños y los prepare progresivamente para las condiciones ambientales. Gracias a esta preparación, parece que incrementan la actividad y la participación en su entorno, junto con una posible mejora de su función corporal.

**Palabras clave:** Virtual reality. Cerebral Palsy. Physiotherapy. Rehabilitation.

**Referencias bibliográficas:**

1. Camacho Salas A, Pallas Alonso CR, de la Cruz Bértolo J, Simón de las Heras R, Mateos Beato F. Parálisis cerebral: concepto y registros de base poblacional. *Rev Neurol*. 2007;45(08):503.
2. Lorente Mateo R, Calvo Muñoz I. Ejercicios de fortalecimiento muscular sobre las habilidades motoras y la fuerza de miembros inferiores en niños y adolescentes con parálisis cerebral: revisión sistemática. *Fisioterapia*. 2019;41(1):48–61.
3. Ren Z, Wu J. The effect of virtual reality games on the gross motor skills of children with cerebral palsy: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(20).
4. Ravi DK, Kumar N, Singhi P. Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidencebased systematic review. *Physiother (United Kingdom)*. 2017;103(3):245–58.
5. Chen Y, Fanchiang HD HA. Effectiveness of Virtual Reality in Children With Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Sch Health*. 2018;98:63–77.
6. Rathinam C, Mohan V, Peirson J, Skinner J, Nethaji KS, Kuhn I. Effectiveness of virtual reality in the treatment of hand function in children with cerebral palsy: A systematic review. *J Hand Ther*. 2019;32(4):426434.e1.

## Telerrehabilitación en la fisioterapia en el sistema musculoesquelético durante la pandemia del COVID-19

**Alba Manzano Pérez.** *Fisioterapeuta.*  
*Clínica de fisioterapia Lymphosalud. Ávila.*

**Introducción:** El dolor ocasionado por el dolor musculoesquelético es una de las primeras causas de morbilidad<sup>(1)</sup>. En el año 2020 ha sucedido una pandemia global a causa del COVID-19, en la cual se han debido tomar medidas de distanciamiento social para frenar su avance<sup>(2)</sup>. Este tipo de medidas ha afectado a la realización de la práctica clínica de la fisioterapia tal y como la entendíamos hasta entonces<sup>(3,4)</sup>, implantándose un modelo de telerrehabilitación para mantener las medidas de seguridad<sup>(5)</sup>. Ya existían previamente herramientas para la telerrehabilitación en fisioterapia<sup>(3,6)</sup>, con lenta implantación y poco uso. Debido a esta situación excepcional, ha aumentado su uso<sup>(7)</sup>.

**Objetivo:** Conocer como se ha desarrollado durante la epidemia la fisioterapia en el aparato musculoesquelético manteniendo el distanciamiento social. Conocer qué desarrollos que se han realizado en la tecnología, cuáles han sido los resultados a nivel clínico y la satisfacción de los pacientes y profesionales. También conocer si la implantación de este tipo de medidas se puede mantener en el tiempo.

**Material y métodos:** Para la investigación se realizó una búsqueda sistemática en las principales bases de datos (PubMed EMBASE, PEDro y WOS) en Diciembre de 2020.

**Resultados:** Se obtuvieron 7 artículos que cumplieran los criterios de inclusión en la búsqueda bibliográfica.

**Conclusiones:** El crecimiento de la telerrehabilitación durante la pandemia ha sido exponencial. Previamente implantada, su desarrollo en esta época ha aumentado. En esta experiencia se ha visto que es viable el desarrollo de la fisioterapia en el sistema musculoesquelético a distancia. La satisfacción de los pacientes ha sido similar a los resultados obtenidos en la práctica clínica presencial. Se debe trabajar para mejorar el marco legal dentro de su desarrollo y dar facilidades a los profesionales para su uso, en toda la fisioterapia, no sólo en la del sistema musculoesquelético. Se necesitan más investigaciones futuras.

**Palabras clave:** telemedicine, telehealth, physiotherapy specialty, physical therapy modality, sars coronavirus, sars cov.

**Referencias bibliográficas:**

1. Cottrell MA, Russell TG. Telehealth for musculoskeletal physiotherapy. *Musculoskeletal Science and Practice [Internet]*. 2020 Aug 1 [cited 2020 Dec 17];48:102193. Available from: [/pmc/articles/PMC7261082/?report=abstract](https://pmc/articles/PMC7261082/?report=abstract)

2. Minghelli B, Soares A, Guerreiro A, Ribeiro A, Cabrita C, Vitoria C, et al. *Physiotherapy services in the face of a pandemic*. *Revista da Associação Médica Brasileira* [Internet]. 2020 Apr 1 [cited 2020 Dec 17];66(4):491–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9282.66.4.491>

3. Turolla A, Rossetini G, Viceconti A, Palese A, Geri T. *Musculoskeletal Physical Therapy During the COVID-19 Pandemic: Is Telerehabilitation the Answer?* *Physical therapy* [Internet]. 2020 Aug 1 [cited 2020 Dec 17];100(8):1260–4. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7239136/>

4. Eannucci EF, Hazel K, Grundstein MJ, Nguyen JT, Gallegro J. *Patient Satisfaction for Telehealth Physical Therapy Services Was Comparable to that of In-Person Services During the COVID-19 Pandemic*. *HSS Journal*. 2020 Nov 1;16:10–6.

5. Miller MJ, Pak SS, Keller DR, Barnes DE. *Evaluation of Pragmatic Telehealth Physical Therapy Implementation During the COVID-19 Pandemic Running Head: Telehealth Physical Therapy Implementation*. *Physical Therapy* [Internet]. 2020 [cited 2020 Dec 17]; Available from: <https://academic.oup.com/ptj/advance-article/doi/10.1093/ptj/pzaa193/5930367>

6. Lee AC. *COVID-19 and the advancement of digital physical therapist practice and telehealth* [Internet]. Vol. 100, *Physical Therapy*. Oxford University Press; 2020 [cited 2020 Dec 17]. p. 1054–7. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7197535/>

7. Fiani B, Siddiqi I, Lee SC, Dhillon L. *Telerehabilitation: Development, Application, and Need for Increased Usage in the COVID-19 Era for Patients with Spinal Pathology*. *Cureus*. 2020;12(9).

## Análisis del área de oscilación mediante estabilometría en sujetos con diferentes clases de oclusión dental

**Raquel Delgado Delgado.** *Fisioterapeuta y Docente Universitario.*

*Lugar de trabajo: Universidad Camilo José Cela.*

**Antonia Emma Gowie.** *Fisioterapeuta.*

*Clínica de Fisioterapia Privada.*

**Juan Antonio Valera Calero.** *Fisioterapeuta y Docente Universitario.*

*Universidad Camilo José Cela.*

**Introducción:** El cuerpo humano oscila continuamente para mantenerse en una situación de estabilidad postural<sup>(1)</sup>. En la estabilización postural intervienen diferentes sistemas, siendo el sistema nervioso central (SNC) el encargado de integrar la información procedente del medio interno o externo, y efectuar una respuesta que permita mantener un tono muscular adecuado que favorezca un equilibrio tanto estático como dinámico<sup>(2,3)</sup>. Existen evidencias de la influencia de las alteraciones del sistema estomatognático, concretamente de la oclusión dental, en el control postural<sup>(2-6)</sup>. Sin embargo, esta relación no es suficientemente clara, por lo que no puede considerarse concluyente debido a los resultados dispares obtenidos por diferentes autores<sup>(7)</sup>.

**Objetivo:** Analizar el área de oscilación mediante estabilometría en hombres y mujeres con diferentes tipos de oclusión dental.

**Material y métodos:** Se llevó a cabo un estudio descriptivo, observacional y transversal, con un total de 40 sujetos de ambos sexos y con una media de edad de 28,88±9,05. En primer lugar, se realizó una evaluación intraoral de la oclusión dental según la clasificación de Angle junto a un examen clínico para determinar la presencia o no de trastorno temporomandibular (TTM) según los Criterios Diagnósticos de Investigación en los Trastornos Temporomandibulares (RC/TMD)<sup>(8)</sup>. Después, se efectuaron las mediciones del área de oscilación mediante la plataforma de estabilometría en diferentes condiciones posturales,

**Resultados:** 40 participantes (50% hombres) fueron analizados para este estudio. Los participantes con oclusión de clase I (n=28) obtuvieron un área de 74,42±30,27; los de clase II-tipo I (n=3) 80,04±20,68; los de clase II-tipo II (n=3) 73,70±13,40; y los de clase III (n=6) 96,97±37,16. No se encontraron diferencias significativas entre clases de oclusión ni entre sexos (p>0,05). No hubo ninguna correlación significativa del área de oscilación con el peso, la edad, altura, el sexo, ni la clase de oclusión (p>0,05)

**Conclusiones:** La clasificación de oclusión dental parece no ser relevante en el área de oscilación. Sin embargo, son necesario estudios con una muestra de sujetos con oclusión de clase II y III representativa para confirmar estos hallazgos.

**Palabras clave:** Postural Balance; Dental Occlusion; Proprioception.

**Referencias bibliográficas:**

1. Ivanenko Y, Gurfinkel VS. Human Postural Control. *Front Neurosci.* 2018 Mar 20; 12:171.
2. Scharnweber B, Adjami F, Schuster G, Kopp S, Natrup J, Erbe C, Ohlendorf D. Influence of dental occlusion on postural control and plantar pressure distribution. *Cranio.* 2017 Nov; 35(6):358-366.
3. Baldini A, Nota A, Tripodi D, Longoni S, Cozza P. Evaluation of the co-relationship between dental occlusion and posture using a force platform. *Clinics (Sao Paulo).* 2013 Jan; 68(1):45-9.
4. Baldini A, Nota A, Cravino G, Cioffi C, Rinaldi A, Cozza P. Influence of vision and dental occlusion on body posture in pilots. *Aviat Space Environ Med.* 2013 Aug; 84(8):823-7.
5. Michelotti A, Buonocore G, Manzo P, Pellegrino G, Farella M. Dental occlusion and posture: an overview. *Prog Orthod.* 2011; 12(1):53-8.
6. Paya-Argoud M, Tardieu C, Cheynet F, Raskin A, Borel L. Impact of orthognathic surgery on the body posture. *Gait Posture.* 2019 Jan; 67:25-30.
7. Manedini D, Castroflorio T, Perinetti G, Guarda-Nardini L. Dental occlusion, body posture and temporomandibular disorders: where we are now and where we are heading for. *J Oral Rehabil.* 2012; 39(6):463-471.
8. Schiffman E, Look J, Anderson G, Goldberg LJ, Haythornthwaite JA, Hollender L, et al. Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (DC/TMD) for Clinical and Research Applications: Recommendations of the International RDC/TMD Consortium Network\* and Orofacial Pain. *J Oral Facial Pain Headache.* 2014; 28(1):6-27.

## Nuevas tecnologías de evaluación funcional para personas con diplegia espástica

**Kostas Gianikellis.** Profesor Titular de Universidad.  
Universidad de Extremadura.

**Rafael Gutierrez-Horrillo.** Investigador.  
Universidad de Extremadura.

**Miguel Rodal.** Investigador.  
Universidad de Extremadura.

**Juan F. García Vázquez.** Clínico.  
FREMAP.

**Introducción:** La diplegia espástica es un tipo de parálisis cerebral que se caracteriza por la presencia de espasticidad, lo que produce una serie de alteraciones en el patrón motor de la marcha, por lo que se producen adaptaciones en la optimización del control motor de la marcha.

**Objetivo:** El objetivo del presente trabajo ha sido la caracterización del patrón motor de la marcha en pacientes con diplegia espástica utilizando técnicas instrumentales y soluciones tecnológicas “cutting-edge” en el contexto de la Biomecánica del Movimiento Humano.

**Material y métodos:** La muestra del estudio estaba compuesta por 9 pacientes con diplegia espástica. Se analizó la cinemática del patrón de la marcha de cada uno de los sujetos mediante el sistema SIMI® (fotogrametría-video 3D). La frecuencia a la que se muestrearon los datos fue de 100 Hz. Se definió un modelo biomecánico para calcular la proyección de los sistemas de referencia de los segmentos corporales a los planos sagital y frontal, así como los ángulos que forman con el plano horizontal.

**Resultados:** Se representaron gráficamente los ángulos calculados en los diferentes plantas (sagital y frontal), lo que permitió identificar la presencia de determinados patrones cinemáticos “característicos” asociados a los movimientos de los diferentes segmentos corporales. El coeficiente de variación calculado para los diferentes eventos definidos en el ciclo de marcha adquirió valores entre 1.41 y 19.76%.

**Conclusiones:** Los procedimientos metodológicos empleados han permitido la caracterización del patrón motor de la marcha de personas con diplegia espásticas en términos de cinemática. Se ha identificado patrones motores relativamente homogéneos en el movimiento de los segmentos corporales.

This manuscript has been supported by the Government of the Community of Extremadura, Grant Ref. GR18191 and project Grant Ref. IB16198; and the project “Centro de Tecnificación del Deporte Paralímpico – DEPATECH 2014-2015”.

**Palabras clave:** Rehabilitation; Spastic diplegia; Human gait; biomechanics.

### Referencias bibliográficas:

1. Mohammed U, Twycross-Lewis R, Timotijevic T, Woledge R, Bader D, Paterson M, et al. Variability of kinematic and kinetic gait data in ambulatory children with spastic cerebral palsy with and without fixed ankle-foot orthoses using 3 d motion analysis: a quantitative prospective study. *Br J Sports Med.* 2011;45:e1.
2. Attias M, Bonnefoy-Mazure A, Lempereur M, Lascombes P, de Coulon G, Armand S. Trunk movements during gait in cerebral palsy. *Clin Biomech.* 2015;30:28–32.
3. Winter D. *Biomechanics and motor control of human movement.* 4 th ed New York: John Wiley & Sons, Inc; 2009.
4. Bernstein N. *The co-ordination and regulation of movements.* Oxford, New York: Pergamon Press Ltd; 1967.
5. Wallard L, Bril B, Dietrich G, Kerlirzin Y, Bredin J. The role of head stabilization in locomotion in children with cerebral palsy. *Ann Phys Rehabil Med.* 2012;55:590-600.

## Reconocimiento de patrones cinéticos en el ciclo de la marcha

---

**Alfonso de Gorostegui Álvarez de Miranda.** Ayudante de Investigación. EUF ONCE (Laboratorio de Marcha).

**Irene Pulido Valdeolivas.** Enlace de Ciencias Médicas (MSL). UCB.

**David Gómez Andrés.** Médico especialista en Neurología Infantil. Instituto de Investigación Vall d'Hebron.

**Juan Andrés Martín Gonzalo.** Profesor titular de Anatomía Humana. EUF ONCE.

**Estrella Rausell Tamayo.** Catedrática, Profesora Titular Neuroanatomía. Universidad Autónoma de Madrid.

---

**Introducción:** El estudio de la marcha humana se realiza a través del análisis de los eventos que ocurren en el ciclo de la marcha. Durante este ciclo, definido como la secuencia de eventos entre el contacto inicial de una extremidad y el posterior contacto de la misma extremidad, se pueden evaluar de manera visual u objetiva los sucesos que lo componen. El análisis instrumental de la marcha es un conjunto de herramientas útiles para la caracterización funcional y fisiopatológica de trastornos motores<sup>(1)</sup>, además de en la evaluación de tratamientos farmacológicos<sup>(2)</sup> o terapias de rehabilitación<sup>(3)</sup>. Esta herramienta permite estudiar de manera objetiva y reproducible la marcha, recogiendo datos espaciotemporales, y parámetros cinemáticos y cinéticos. El análisis cinético no tiene en cuenta ni la posición ni la orientación de los objetos involucrados; únicamente abarca el estudio de fuerzas, momentos, masas y aceleraciones.

**Objetivo:** La automatización de la extracción de variables cinéticas procedentes del análisis instrumental de la marcha.

**Material y métodos o Descripción del caso:** Se analizaron los datos de 153 sujetos, tanto controles como afectados por enfermedades neurológicas, a los que previamente se les había realizado el estudio de movimiento en el Laboratorio de Marcha de la Escuela de Fisioterapia de la ONCE. Este laboratorio cuenta con un sistema optoelectrónico de captura del movimiento en tres dimensiones denominado CODA. El hardware consiste en una serie de marcadores de posición que se adhieren a la piel y cuya señal es captada por dos unidades sensor. El sujeto camina a lo largo de una pasarela de marcha en cuyo centro se encuentra una placa de presión que recoge la información de la fuerza. Toda esta información es transmitida en tiempo real hacia el ordenador que contiene el software comercial de análisis de movimiento ODIN, encargado de los cálculos. La identificación de las variables cinéticas se realizó mediante el software R de análisis estadístico, empleando algoritmos de identificación de máximos y mínimos y posicionales.

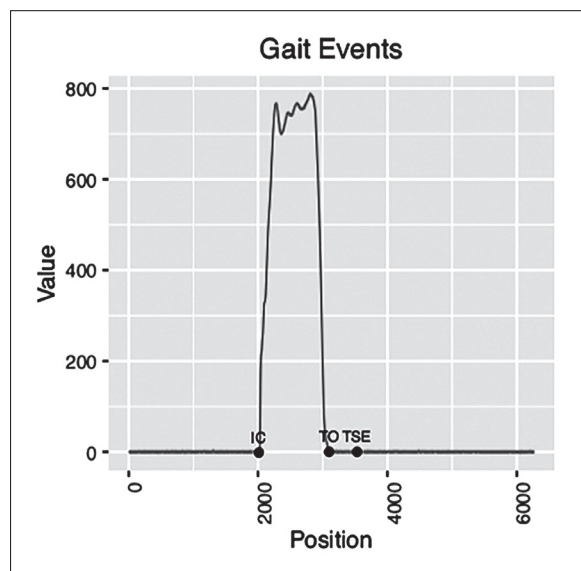
**Resultados:** Los resultados obtenidos proporcionan una visión global de las variables cinéticas identificadas por paciente y por extremidad del ciclo de marcha. De cada uno se extrajeron (I) los eventos del ciclo de marcha (Fig. 1), (II) las variables del vector de reacción de fuerza y los parámetros de (III) los momentos y (IV) potencias de la cadera, rodilla y tobillo.

**Conclusiones:** El reconocimiento de patrones en las curvas cinéticas del análisis de marcha permite la automatización en la detección y extracción de variables cinéticas. Esto facilita la comparación entre distintos grupos clínicos y la búsqueda de diferencias relevantes.

**Palabras clave:** "gait analysis", "kinetics", "pattern recognition, automated" (análisis de marcha, cinética, reconocimiento automático de patrones).

### Referencias bibliográficas:

1. Horak FB. *Clinical assessment of balance disorders. Gait and Posture. 1997.*
2. Lecat M, Decavel P, Magnin E, Lucas B, Gremeaux V, Sagawa Y. *Multiple Sclerosis and Clinical Gait Analysis before and after Fampridine: A Systematic Review. European Neurology. 2017.*
3. Huisinga JM, Schmid KK, Filipi ML, Stergiou N. *Persons with multiple sclerosis show altered joint kinetics during walking after participating in elliptical exercise. J Appl Biomech. 2012.*



**Figura 1.** Componente vertical del vector de reacción de fuerza, como respuesta a la pisada de una extremidad en la plataforma de fuerza. IC: contacto inicial, TO: despegue de talón, TSE: contacto sucesivo de la misma extremidad. El eje de abscisas está expresado en ms y el eje de ordenadas en Newtons.

Edita:

**ONCE**

**Escuela Universitaria de Fisioterapia  
c/ Nuria, 42 • 28034 Madrid  
Tel. 91 5894500 • euf@once.es**

Depósito legal:

**M-6132-2021**

ISBN:

**978-84-484-0302-7**

Diseño y Maquetación:

**Dirección de Comunicación e Imagen  
del Grupo Social ONCE**

**P.V.P.: 5 euros**

Los trabajos presentados en este libro  
son originales y el contenido es responsabilidad  
de los propios autores.

Prohibida la reproducción total y parcial  
de este libro, por cualquier medio.

# ESCUELA UNIVERSITARIA DE FISIOTERAPIA DE LA ONCE

Universidad Autónoma de Madrid



**iguales**  
Para hoy. Para mañana.