



La realidad virtual en la recuperación del equilibrio de personas con lesión medular incompleta

Virtual reality in the recovery of balance in people with incomplete spinal cord injuries

Kevin Andres Molineros Tamayo^{1*} <https://orcid.org/0009-0007-6580-3401>

Oswaldo Alejandro Villa Cajamarca¹ <https://orcid.org/0009-0008-4131-1864>

María Belén Pérez García¹ <https://orcid.org/0000-0003-1015-6212>

¹Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: kevinandres_88@hotmail.com

RESUMEN

Introducción: Las personas con lesión medular incompleta presentan trastornos del equilibrio que afectan su capacidad funcional y requieren tratamiento fisioterapéutico. Las intervenciones basadas en realidad virtual se valoran como terapias prometedoras para la recuperación del equilibrio en este tipo de pacientes.

Objetivo: Describir los principios fisioterapéuticos y beneficios de la realidad virtual que favorecen la recuperación del equilibrio en personas con lesión medular incompleta.

Métodos: Se realizó una revisión bibliográfica de información actualizada publicada en revistas indexadas en bases de datos regionales (Scielo, Latindex y Redalyc) y de alto impacto (Scopus, PubMed y Medline) en los últimos 5 años. Se utilizaron descriptores de salud en idioma inglés, español y portugués y operadores booleanos (OR, NOT y AND) que permitieron aumentar y optimizar los resultados de la búsqueda. Se utilizó Google Académico como motor de búsqueda



para localizar la información. Se identificaron un total de 89 documentos, de los cuales 30 aportaron información al estudio.

Desarrollo: Los principales resultados de la investigación incluyen una síntesis de las características del equilibrio en personas con lesión medular incompleta; así como un resumen de las intervenciones que han reportado mejora.

Conclusiones: Los entrenamientos de realidad virtual incluyen terapias únicas o combinadas que pueden ser eficaces en la recuperación del equilibrio. Estos entrenamientos contienen movimientos variados y ofrecen una retroalimentación multimodal que activa y reorganiza procesos neurofisiológicos, redes y áreas corticales, lo que conlleva una mejora del equilibrio y la movilidad.

Palabras clave: equilibrio postural; fuerza muscular; rehabilitación.

ABSTRACT

Introduction: People with incomplete spinal cord injury present balance disorders that affect their functional capacity and require physical therapy. Virtual reality-based interventions are considered promising therapies for restoring balance in these patients.

Objective: To describe the physiotherapeutic principles and benefits of virtual reality that promote balance recovery in people with incomplete spinal cord injury.

Methods: A bibliographic review was conducted of updated information published in journals indexed in regional databases (Scielo, Latindex, and Redalyc) and high-impact databases (Scopus, PubMed, and Medline) over the last 5 years. Health descriptors in English, Spanish, and Portuguese were used, along with Boolean operators (OR, NOT, and AND) to increase and optimize search results. Google Scholar was used as the search engine to locate information. A total of 89 documents were identified, of which 30 contributed information to the study.

Development: The main results of the research include a synthesis of balance characteristics in people with incomplete spinal cord injury, as well as a summary of interventions that have reported improvement.

Conclusions: Virtual reality training includes single or combined therapies that can be effective in restoring balance. These trainings involve varied movements and provide multimodal feedback that



activates and reorganizes neurophysiological processes, networks, and cortical areas, leading to improved balance and mobility.

Keywords: muscle strength; postural balance; rehabilitation.

Recibido: 06/02/2025

Aprobado: 23/06/2025

INTRODUCCIÓN

La lesión medular (LME) constituye una afectación de la médula espinal que bloquea el tejido nervioso y la transmisión de impulsos, como consecuencia existe un bloqueo sensorial y motor entre el cerebro y otras estructuras corporales.^(1,2) Esta situación provoca alteraciones temporales o permanentes en las funciones motoras, sensoriales y automáticas del individuo.^(2,3) Se reporta que en el 60 % de las personas que sufren LME la afectación es incompleta; en estos pacientes, el 75 % puede caminar, pero presentan alteraciones evidentes del equilibrio por deterioro del control muscular y déficits sensoriales, lo que aumenta el riesgo de caídas.^(4,5)

Para clasificar el tipo de LME y determinar su gravedad, se utiliza con mayor frecuencia la escala de clasificación neurológica estándar, presentada por la *American Spinal Injury Association* (AIS por sus siglas en inglés), que ordena a los pacientes en los niveles: (A) lesión completa con pérdida total de la función motora y sensorial; (B) lesión incompleta con función sensorial preservada y pérdida de la función motora; (C) incompleta con funciones motoras parciales preservadas por debajo del nivel de la lesión (menos de la mitad de los músculos tienen una puntuación de 3 en la evaluación de fuerza según el *Medical Research Council* (MRC)); (D) similar a C, pero la mitad de los músculos presentan una puntuación de 3 en la evaluación de fuerza según MRC; (E) examen motor y sensorial normal.⁽⁶⁾

La disfunción del equilibrio es un factor clave en la movilidad y el control postural deficientes, afecta la funcionalidad y la capacidad para deambular.⁽⁴⁾ Vencer los retos de equilibrio requiere la





coordinación entre los músculos y el sistema nervioso,^(4,5) el control e integración de los sistemas visual, vestibular y propioceptivo, así como de una adecuada retroalimentación, que aseguren el equilibrio tanto en posición de pie como sentado y la estabilidad postural.^(7,8)

La estabilidad postural estática, al estar sentado o de pie, es importante para realizar las actividades básicas de la vida diaria; a su vez, el equilibrio dinámico es la capacidad de responder a estímulos externos o perturbación.⁽⁷⁾ La pérdida de funciones asociadas con la LME, afecta la capacidad para mantener el equilibrio postural, por lo que la recuperación de esta función es fundamental en personas con daño incompleta.^(2,9)

Ante esta situación es necesario incluir estrategias fisioterapéuticas capaces de mejorar el equilibrio de las personas con LME. Los programas de rehabilitación convencionales se basan en ejercicios para mantener y fortalecer los músculos, mejorar el equilibrio estático y dinámico, entrenar la marcha, aprender técnicas de adaptación para realizar las tareas cotidianas y prevenir complicaciones derivadas del encamamiento.^(6,8) Sin embargo, la neurorrehabilitación está favorecida por la introducción de avances tecnológicos, que permiten un entrenamiento más intensivo que favorecen los procesos de reaprendizaje motor y cognitivo.^(6,8) Dentro de ellos, la implementación de la realidad virtual (RV) es uno de los más significativos.⁽⁸⁾

Los sistemas de RV brindan entornos virtuales enriquecidos desde el punto de vista multidimensional y multisensorial; simulan escenarios de la vida real en los cuales los pacientes pueden interactuar según diferentes grados de inmersión: no inmersiva, semiinmersiva e inmersiva.^(6,10) De forma general ofrecen la posibilidad de un entrenamiento seguro con actividades funcionales específicas, intensas y motivadoras que propician una eficaz retroalimentación y contribuyen, entre otros, a mejorar la neuroplasticidad.⁽³⁾ También favorecen la adherencia terapéutica y el logro de mejores resultados en relación con el funcionamiento motor.^(3,6,10)

La utilización de la RV en la rehabilitación de LME es diversa e incluye una amplia variedad de intervenciones que favorecen el reaprendizaje motor y el equilibrio.⁽¹¹⁾ Para interpretar de manera correcta los beneficios de la RV en la recuperación del equilibrio de las personas con LME, es necesario conocer los principios fisioterapéuticos de este tipo de tratamiento.



Es por eso que teniendo en cuenta la afectación del estado de salud que presentan las personas con LME incompleta, la necesidad de mejorar el equilibrio para minimizar el riesgo de caída y las ventajas que ofrece la RV en estos pacientes; se decide realizar esta investigación con el objetivo de describir los principios fisioterapéuticos de la realidad virtual que favorecen la recuperación del equilibrio en personas con lesión medular incompleta.

MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica para obtener información actualizada sobre los mecanismos fisioterapéuticos que fundamentan los beneficios de la RV en la recuperación del equilibrio en personas con LME incompleta. Se utilizó Google Académico como el motor de búsqueda para localizar documentos publicados entre 2019 y 2024 en revistas indexadas en bases de datos regionales (SciELO, Latindex y Redalyc) y de alto impacto (Scopus, PubMed y Medline).

Durante el proceso de búsqueda, se utilizaron descriptores de salud en idioma español, inglés y portugués (equilibrio postural, fuerza muscular, realidad virtual y rehabilitación) que se combinaron con operadores booleanos (AND, OR y NOT) para poder aumentar sus resultados y a la vez optimizarlos en función del objetivo de la investigación.

Se valoraron artículos que investigaron las características del equilibrio, las intervenciones basadas en RV y sus efectos en la recuperación de esta función en personas con LME incompleta. Inicialmente, se identificaron 89 documentos, de los cuales se incluyeron en el estudio 30 artículos consistentes en ensayos clínicos, revisiones sistemáticas y metanálisis. Los requisitos de inclusión fueron los siguientes: documentos con texto completo disponibles, relacionados con el tema de investigación y publicados en un periodo de tiempo no superior de 5 años.

Cada documento que fue incluido en el estudio se leyó de manera íntegra para poder identificar y seleccionar la información útil para cumplir su objetivo. Los datos recopilados permitieron elaborar resultados y definir conclusiones orientadas a la solución parcial o total del problema de investigación. Durante el desarrollo del estudio se cumplieron los principios éticos de utilizar la



información solo con fines investigativos, sin incluir datos de identidad personal y respetando el derecho de autor de cada documento utilizado en la investigación.

DESARROLLO

La RV es utilizada en el tratamiento fisioterapéutico de diferentes enfermedades y trastornos neurológicos. En el caso de la LME incompleta, la terapia se realiza para la mejora de diferentes daños provocados por la lesión, uno de ellos, el deterioro de la función de equilibrio.

El equilibrio en personas con lesión medular incompleta

El equilibrio es una función primordial para las actividades básicas de la vida diaria;⁽¹²⁾ las personas con LME incompleta presentan daño sensitivo motor y enfrentan desafíos relacionados con el equilibrio.⁽¹³⁾ Se reporta que la lesión medular genera deterioro de la capacidad para mantener su cuerpo equilibrado; condición que afecta la propiocepción y el mayor balanceo de los miembros superiores.⁽¹⁴⁾ Muchos pacientes presentan un patrón de marcha alterado y apoyan el peso en ambas piernas para mejorar el apoyo y sostén debido a deficiencias en el control del equilibrio lateral.^(14,15) Otras alteraciones relacionadas con el equilibrio en pacientes con LME incompleta reducción de la fuerza muscular y mayor activación en los músculos de los muslos durante actividades que exigen de esta función; esta situación provoca fatiga muscular que exacerba más aún la dificultad para mantener un adecuado equilibrio.^(16,17)

En personas con LME incompleta se conoce que existe una desviación del centro de presión que genera las alteraciones del equilibrio, aun cuando utilizan todos los sentidos. Esta afirmación confirma que la integración de la sensación somatosensorial, vestibular y visual, es crucial para mantener el equilibrio y desempeñan un papel predominante en la eficacia del control postural.⁽¹⁴⁾ En este tipo de afección hay deterioro del sistema somatosensorial,⁽¹⁾ que influye negativamente en la función motora, sobre todo por debajo del nivel de la lesión, y también cambia la reponderación sensorial;⁽¹³⁾ estas condiciones generan disminución de la capacidad de equilibrio y la estabilidad postural, tanto en bipedestación como en sedestación.^(4,18)



La presencia de este tipo de lesión cambia la postura y la alineación de la columna vertebral, lo que trae consigo cambios en el centro de presión.⁽¹⁴⁾ Además, su velocidad y la aceleración del centro de masa se tornan mayores, incluso en posición de bipedestación estática.⁽¹⁹⁾

En pacientes ambulatorios con LME incompleta, garantizar que se restablezcan las condiciones originales del centro de presión,⁽¹⁴⁾ y que se recupere la capacidad de control del centro masa lateral se correlaciona con el equilibrio al caminar, la velocidad y el equilibrio postural.⁽²⁰⁾ Lograrlo permite mantener la estabilidad postural, disminuir los riesgos de caídas y de sufrir lesiones físicas resultantes de estas caídas. El miedo a caer, las limitaciones para la participación social y las afectaciones a su calidad de vida también son beneficios resultantes del control del equilibrio en estos pacientes.⁽¹²⁾

Intervenciones basadas en RV para la recuperación del equilibrio en personas con LME incompleta.

En las personas con LME incompleta se aplican diferentes tratamientos fisioterapéuticos para la recuperación del equilibrio, es clave incrementar la fuerza muscular del tronco y de las extremidades inferiores.⁽⁵⁾ El uso de terapias convencionales muestra efectos positivos que promueven la recuperación del equilibrio; sin embargo, no afrontan la complejidad de los desafíos cognitivos y físicos asociados con la LME incompleta, lo que sí sucede con la aplicación de entrenamientos basados en RV.^(11,14,21)

Se describe que la RV es más integral, que genera un impacto positivo en las funciones de movilidad corporal y el equilibrio,⁽¹¹⁾ y que su utilización puede realizarse en el hogar evitando así los traslados de los pacientes.⁽²¹⁾ Los juegos de ejercicios de RV, tanto comerciales como diseñados con fin terapéutico, se utilizan en el tratamiento de personas con LME incompleta y se consideran como la primera opción fisioterapéutica en este tipo de pacientes.⁽²²⁾

Sengupta M y otros,⁽⁷⁾ desarrollan su intervención basada en juegos que involucraban el control del tronco, su desplazamiento lateral, la coordinación bimanual, el equilibrio estático anteroposterior, equilibrio dinámico y marcha estática mediante el uso del programa de RV *Retoric*. Los participantes clasificados en los niveles A, B, C o D, según AIS y tiempo de lesión inferior a 6 meses, realizan ejercicios, sentados o de pie con andador. El grado de dificultad se incrementa





durante el transcurso de las sesiones. El grupo control recibe terapia convencional. Todos realizan ejercicios personalizados. Un evaluador ciego observa mejoras más acentuadas en los pacientes C y D que en los B, tanto en la escala de equilibrio de Berg como en la evaluación de la movilidad orientada al rendimiento independiente del tipo de entrenamiento. En el grupo de RV se identifican mejoras estadísticamente significativas en ambas pruebas.

Nair MS y otros⁽¹⁾ realizan una intervención de terapia combinada de 4 semanas en 2022, con 30 minutos y 6 días por semana. Los participantes, A o B según AIS, ejecutan la terapia en posición sentada. El entrenamiento de RV consiste en juegos de tenis y esquí en Xbox Kinect. El grupo de control realiza terapia convencional con ejercicios de equilibrio, principalmente en un solo plano. Ambos grupos, además, realizan ejercicios de rutina durante 45 minutos diarios. La evaluación cegada durante el posttest evidencia mejoras significativas en las distancias de alcance y en todas direcciones valoradas en la prueba de alcance funcional modificada en el grupo experimental con respecto al grupo control; la prueba de la camiseta, por su parte, no muestra diferencias significativas entre ambos grupos.

Lee MJ y otras⁽⁹⁾ desarrollan un entrenamiento con terapia combinada sobre el equilibrio en posición sentada, 5 sesiones semanales. Los participantes, todos pacientes parapléjicos con tiempo de evolución de la LME incompleta mayor a 6 meses y nivel C o D. Ambos grupos realizan 30 minutos de terapia ocupacional; además, el grupo control 30 minutos de terapia convencional con ejercicios de equilibrio y desplazamiento de peso; el grupo experimental un programa de entrenamiento de equilibrio con RV mediante el dispositivo *Bio Rescue*. Los ejercicios varían en dependencia de la condición del paciente; además suministran retroalimentación audiovisual. Las puntuaciones muestran incrementos estadísticamente significativos en los dos grupos, así como en todas las puntuaciones en el grupo experimental con respecto al grupo de control.

Otras investigaciones,^(23,24,25) también reportan ventajas estadísticamente significativas en relación con una mayor mejoría de los elementos relacionados con el equilibrio en pacientes que usaron RV como parte de sus esquemas terapéuticos. Estos resultados se centran en la mejora de conexiones de redes sensoriales y mejoramiento de la fuerza muscular.



También en el año 2023, *Goel T* y otros,⁽¹⁶⁾ realizan un entrenamiento 5 veces por semana durante 4 semanas, en el que comparan la aplicación de un programa de estimulación eléctrica funcional y terapia convencional con un entrenamiento de RV inmersiva y terapia convencional. La RV a través de auriculares y gafas de realidad virtual con juegos para la creación de entornos virtuales y desarrolla ejercicios centrados en el equilibrio estático y dinámico en posición sentada. Los participantes son pacientes con nivel B, C y D y duración de la lesión menor a 10 meses. Los resultados de la prueba de alcance funcional modificada y la prueba funcional de equilibrio al sentarse, muestran una mejora estadísticamente significativa en los 2 grupos, la estabilidad del tronco mejora de manera más significativa en el grupo de RV.

Principios fisioterapéuticos y efectos de la RV en personas con LME incompleta en la recuperación del equilibrio

La capacidad de caminar es prioridad para los pacientes con LME, pero el equilibrio juega un papel preponderante para facilitar la marcha. El control del tronco y el equilibrio son esenciales en la capacidad del centro de masa para la independencia.^(26,27) La eficacia de la RV en pacientes con LME incompleta se centra, además de en los efectos sobre el equilibrio y la fuerza muscular, en la estimulación de variados movimientos funcionales, fomento de la independencia y la autoconfianza, aumento de la motivación y el compromiso del paciente con el proceso de rehabilitación y, sobre todo, no se reportan efectos adversos.⁽⁸⁾

El entrenamiento de RV potencia la motivación por el juego y para la realización de los ejercicios de rehabilitación; además, mejora los niveles de participación, el equilibrio postural, la función de movilidad erguida y la capacidad para caminar en pacientes con LME incompleta.^(2,4,23,26,28)

El entrenamiento con el uso de estas tecnologías proporciona una estimulación sensorial propia, puede generar variados efectos en la rehabilitación del paciente y alcanzar resultados prometedores en términos de precisión y retroalimentación, sea como terapia única o combinada.^(3,26) Se reporta que la combinación de terapia convencional y de RV puede ser una opción ideal para mejorar la funcionalidad general en pacientes con LME incompleta.^(9,26)

Los entornos virtuales que implican retos para el paciente en posición de pie como mover su peso en múltiples direcciones mientras realizan varias tareas, como mover objetos virtuales, hacer girar



una pelota y evitar obstáculos, posibilitan una perturbación autogenerada del individuo en el proceso de mantener el equilibrio;⁽²³⁾ esto potencia una mejora eficaz en el equilibrio y en la función de movilidad erguida.^(23,26) Optimiza la coordinación y la fuerza de las extremidades inferiores, esenciales para girar, mantenerse en bipedestación y caminar en pacientes con LME incompleta. Estos resultados se muestran al aplicar pruebas de límites y otras escalas confiables relacionadas con la función de equilibrio de los pacientes.^(26,29)

Un sistema de RV puede proporcionar retroalimentación multimodal, compensar el deterioro somatosensorial, formar parte de un programa de rehabilitación integral y propiciar la integración de las entradas vestibulares, auditivas, visuales y somatosensoriales.⁽¹⁾ En la mejora del equilibrio, uno de los posibles mecanismos que actúa se relaciona con la activación de las regiones corticales del cerebro mediante el entorno virtual.⁽¹⁶⁾ La retroalimentación en tiempo real activa áreas de la corteza motora que conducen a una mejor recuperación. El entrenamiento de RV centrado en la actividad física y la retroalimentación multimodal induce neuroplasticidad en los niveles cortical y subcortical a través de información que llega desde los sistemas sensoriales estimulando el sistema nervioso central.^(7,8,10,16,24)

La realización de tareas y el escenario virtual activan las redes corticales en los hemisferios cerebrales, que implica las áreas corticales prefrontal, premotora, motora suplementaria y parietal, con repercusión positiva en el control postural.⁽¹⁶⁾ Por otra parte, se describe que la RV provoca un bombardeo intenso de estímulos sensoriales multimodales en la médula espinal dañada, se activan y reorganizan los procesos neurofisiológicos, el sistema de neuronas espejo, la corteza prefrontal, las áreas corticales parietales y otras redes corticales motoras que mejoran el equilibrio y la movilidad.⁽⁷⁾

El proceso de aprendizaje se beneficia de un entrenamiento basado en tareas variadas, ya que requieren una reorganización más versátil de los movimientos corporales e inducen a un mayor conocimiento sobre las diferentes opciones que brinda el controlador del sistema de RV. El equilibrio entre la capacidad de realizar ejercicios que involucran a músculos con poca utilización y la capacidad de control que pueden propiciar algunos de los dispositivos utilizados en las terapias basadas en RV impide la atrofia muscular y mejora el proceso de recuperación.⁽³⁰⁾



Se concluye que los entrenamientos de realidad virtual incluyen terapias únicas o combinadas que pueden ser eficientes en la recuperación del equilibrio; ya que involucran movimientos variados y brindan retroalimentación multimodal que activan y reorganizan procesos neurofisiológicos, redes y áreas corticales lo que conlleva una mejora del equilibrio y la movilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nair MS, Kulkarni VN, Shyam AK. Combined Effect of Virtual Reality Training (VRT) and Conventional Therapy on Sitting Balance in Patients with Spinal Cord Injury (SCI): Randomized Control Trial [Internet]. Neurol India. 2022 [acceso: 9/12/2024]; 70(Supplement 1):S245-S250. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36412376/>
2. Abou L, Malala VD, Yarnot R, Alluri A, Rice LA. Effects of Virtual Reality Therapy on Gait and Balance Among Individuals With Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Meta-analysis [Internet]. Neurorehabil Neural Repair. 2020 [acceso: 9/12/2024]; 34(5):375-88. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32270736/>
3. Singh P, Dwivedi A. The Effectiveness of Virtual Reality Along with Task Specific Training on Quality of Life of C6-C7 Level- Incomplete Spinal Cord Injury Patients [Internet]. Indian Journal of Physiotherapy and Occupational Therapy. 2024 [acceso: 10/12/2024]; 18(2):65-71. Disponible en: [https://ijpot.com/scripts/IJPOT%20Vol%2018%20No.%202%20April-June%202024%20\(3\).pdf#page=63](https://ijpot.com/scripts/IJPOT%20Vol%2018%20No.%202%20April-June%202024%20(3).pdf#page=63)
4. Karadimitri D. Static Balance Rehabilitation in Individuals with Incomplete Spinal Cord Injury [Internet] Acta Orthopaedica Et Traumatologica Hellenica. 2023 [acceso: 11/12/2024]; 74(1):66-74. Disponible en: <https://www.eexot-journal.com/index.php/aoet/article/view/297>
5. Benn NL, Jervis Rademeyer H, Souza WH, Pakosh M, Inness EL, Musselman KE (2024). Balance Interventions to Improve Upright Balance Control and Balance Confidence in People With Motor-Incomplete Spinal Cord Injury or Disease: A Systematic Review and Meta-analysis [Internet]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation [acceso: 11/12/2024]; 3(2)1-15. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003999324011626>



6. Maggio MG, Bonanno M, Manuli A, Onesta MP, De Luca R, Quartarone A, et al. Do Individuals with Spinal Cord Injury Benefit from Semi-Immersive Virtual Reality Cognitive Training? Preliminary Results from an Exploratory Study on an Underestimated Problem [Internet]. Brain Sci. 2023 [acceso: 12/12/2024]; 13(6): [aprox. 10 pant.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10296140/>
7. Sengupta M, Gupta A, Khanna M, Rashmi Krishnan UK, Chakrabarti D. Role of Virtual Reality in Balance Training in Patients with Spinal Cord Injury: A Prospective Comparative Pre-Post Study [Internet]. Asian Spine. 2020 [acceso: 13/12/2024]; 14(1):51-8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31956089/>
8. Orsatti Sánchez BA, Díaz Hernández O. Eficacia de la realidad virtual en la neurorrehabilitación de pacientes con lesión medular: una revisión sistemática [Internet]. Rev mex ing bioméd. [acceso: 13/12/2024]; 42(2):90-103 Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322021000200202&lng=es&nrm=iso.
9. Lee MJ, Lee SM. The Effect of Virtual Reality Exercise Program on Sitting Balance Ability of Spinal Cord Injury Patients [Internet]. Healthcare (Basel). 2021 [acceso: 14/12/2024]; 9(2): [aprox. 7 pant.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7915104/>
10. Leemhuis E, Esposito RM, De Gennaro L, Pazzaglia M. Go Virtual to Get Real: Virtual Reality as a Resource for Spinal Cord Treatment [Internet]. Int J Environ Res Public Health. 2021 [acceso: 14/12/2024]; 18(4): [aprox. 22 pant.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7918193/>
11. Scalise M, Bora TS, Zancanella C, Safa A, Stefini R, Cannizzaro D. Virtual Reality as a Therapeutic Tool in Spinal Cord Injury Rehabilitation: A Comprehensive Evaluation and Systematic Review [Internet]. J Clin Med. 2024 [acceso: 15/12/2024]; 13(18): [aprox. 16 pant.]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39336916/>
12. Lorusso M, Tagliamonte NL, Tramontano M, Fresch A, Granelli G, Smania N, et al. Technology-assisted balance assessment and rehabilitation in individuals with spinal cord injury:



A systematic review [Internet]. NeuroRehabilitation. 2022 [acceso: 15/12/2024]; 51(2):213-30. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35723118/>

13. Noamani A, Riahi N, Vette AH, Rouhani H. Clinical Static Balance Assessment: A Narrative Review of Traditional and IMU-Based Posturography in Older Adults and Individuals with Incomplete Spinal Cord Injury [Internet]. Sensors (Basel). 2023 [acceso: 16/12/2024]; 23(21): [aprox. 30 pant.]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/21/8881>

14. Park TS, Shin MJ, Shin YB, Kim SH. A new balance assessment tool for quantifying balance impairment in patients with motor incomplete spinal cord injury: Pilot study [Internet]. J Spinal Cord Med. 2023 [acceso: 16/12/2024]; 46(6):941-9. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10653740/>.

15. Lin JT, Hsu CJ, Dee W, Chen D, Rymer WZ, Wu M. Varied movement errors drive learning of dynamic balance control during walking in people with incomplete spinal cord injury: a pilot study [Internet]. Exp Brain Res. 2020 [acceso: 17/12/2024]; 238(4):981-93. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7210972/>

16. Goel T, Sharma N, Gehlot A, Srivastav AK. Effectiveness of immersive virtual reality training to improve sitting balance control among individuals with acute and sub-acute paraplegia: A randomized clinical trial [Internet]. 2023 [acceso: 17/12/2024]; 46(6):964-74. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10653758/>

17. Wouda MF, Lotveit MF, Bengtson EI, Strom V. The relationship between balance control and thigh muscle strength and muscle activity in persons with incomplete spinal cord injury [Internet]. Spinal Cord Ser Cases. 2024 [acceso: 18/12/2024]; 10(1):1-7. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10902359/>

18. Walia S, Kumar P, Kataria C. Interventions to Improve Standing Balance in Individuals With Incomplete Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis [Internet]. Top Spinal Cord Inj Rehabil. 2023 [acceso: 18/12/2024]; 29(2):56-83. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10208260/>

19. Fok KL, Lee JW, Unger J, Chan K, Musselman KE, Masani K. Co-contraction of ankle muscle activity during quiet standing in individuals with incomplete spinal cord injury is



associated with postural instability [published correction appears in Sci Rep. 2021 [acceso: 19/12/2024]; 11(1): [aprox. 14 pant.]. Disponible en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34599267/>

20. Dusane S, Shafer A, Ochs WL, Cornwell T, Henderson H, Kim KY, et al. Control of center of mass motion during walking correlates with gait and balance in people with incomplete spinal cord injury [Internet]. Front Neurol. 2023 [acceso: 19/12/2024]; 14: [aprox. 10 pant.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10262050/>

21. Kang D, Eun SD, Park J. Pilot Study of Home-Based Virtual Reality Fitness Training in Post-Discharge Rehabilitation for Patients with Spinal Cord Injury: A Randomized Double-Blind Multicenter Trial [Internet]. Life (Basel). 2024 [acceso: 20/12/2024]; 14(7): [aprox. 12 pant.]. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11278213/>

22. De Miguel Rubio A, Rubio MD, Salazar A, Camacho R, Lucena Anton D. Effectiveness of Virtual Reality on Functional Performance after Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials [Internet]. J Clin Med. 2020 [acceso: 20/12/2024]; 9(7): [aprox. 15 pant.]. Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7408779/>

23. An CM, Park YH. The effects of semi-immersive virtual reality therapy on standing balance and upright mobility function in individuals with chronic incomplete spinal cord injury: A preliminary study [Internet]. J Spinal Cord Med. 2018 [acceso: 21/12/2024]; 41(2):223-9. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5901459/>

24. Maresca G, Maggio MG, Buda A, La Rosa G, Manuli A, Bramanti P, et al. Un nuevo uso de la realidad virtual en el tratamiento del déficit cognitivo y motor en la lesión de la médula espinal: informe de un caso [Internet]. Medicine (Baltimore). 2018 [acceso: 22/12/2024]; 97(50):e13559. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30558016/>

25. Recio AC, Stiens SA, Morgan M, Selvarajah AC, Habgood MD, Saunders NR. Realtime physical simulator for virtual reality sailing by patients with spinal cord injury: an innovative voyage [Internet]. Health Open Research. 2024 [acceso: 23/12/2024]; 6(6): [aprox. 14 pant.]. Disponible en: <https://healthopenresearch.org/articles/6-6>



26. Wang L, Zhang H, Ai H, Liu Y. Effects of virtual reality rehabilitation after spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis [Internet]. J Neuro en Rehabil. 2024 [acceso: 23/12/2024]; 21(1): [aprox. 16 pant.]. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11514920/>
27. Tamburella F, Lorusso M, Merone M, Bacco L, Molinari M, Tramontano M, et al. Quantifying Treatments as Usual and with Technologies in Neurorehabilitation of Individuals with Spinal Cord Injury [Internet]. Healthcare (Basilea, Suiza). 2024 [acceso: 24/12/2024]; 12(18): [aprox. 22 pant.]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2227-9032/12/18/1840>
28. Miguel Rubio A, Rubio MD, Salazar A, Moral Muñoz JA, Requena F, Camacho R, et al. Is Virtual Reality Effective for Balance Recovery in Patients with Spinal Cord Injury? A Systematic Review and Meta-Analysis [Internet]. J Clin Med. 2020 [acceso: 24/12/2024]; (9): [aprox. 12 pant.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7564926/><https://www.mdpi.com/2077-0383/9/9/2861>
29. Abou L, Rice LA. The associations of functional independence and quality of life with sitting balance and wheelchair skills among wheelchair users with spinal cord injury [Internet]. J Spinal Cord Med. 2024 [acceso: 25/12/2024]; 47(3):361-8. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11044718/><https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10790268.2022.2057721>
30. De Miguel Rubio A, Muñoz Pérez L, Alba Rueda A, Arias Ávila M, Rodríguez de Souza DP. A Therapeutic Approach Using the Combined Application of Virtual Reality with Robotics for the Treatment of Patients with Spinal Cord Injury: A Systematic Review [Internet]. Int J Environ Res Public Health. 2022 [acceso: 25/12/2024]; 19(14): [aprox. 15 pant.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9322038/>

Conflictos de interés

Los autores no refieren conflictos de interés.



Contribuciones de los autores

Conceptualización: *Kevin Andres Molineros Tamayo, Oswaldo Alejandro Villa Cajamarca y María Belén Pérez García.*

Curación de datos: *Kevin Andres Molineros Tamayo y Oswaldo Alejandro Villa Cajamarca.*

Análisis formal: *Kevin Andres Molineros Tamayo y María Belén Pérez García.*

Investigación: *Kevin Andres Molineros Tamayo y Oswaldo Alejandro Villa Cajamarca.*

Metodología: *Kevin Andres Molineros Tamayo, Oswaldo Alejandro Villa Cajamarca y María Belén Pérez García.*

Recursos: *Kevin Andres Molineros Tamayo y Oswaldo Alejandro Villa Cajamarca*

Supervisión: *María Belén Pérez García.*

Validación: *Oswaldo Alejandro Villa Cajamarca y María Belén Pérez García.*

Visualización: *Oswaldo Alejandro Villa Cajamarca y María Belén Pérez García*

Redacción – borrador original: *Kevin Andres Molineros Tamayo, Oswaldo Alejandro Villa Cajamarca*

Redacción – revisión y edición: *Kevin Andres Molineros Tamayo, Oswaldo Alejandro Villa Cajamarca y María Belén Pérez García.*

Disponibilidad de datos

No hay datos asociados con este artículo.