

Mejora de la conducción en pacientes con lesión medular mediante el uso de la realidad virtual. Revisión sistemática

Amaranta de Miguel-Rubio, Javier Rascón-Maíz, Álvaro Alba-Rueda, Daiana P. Rodrigues-de-Souza

Introducción. La lesión medular es una patología que provoca afectaciones motoras y sensitivas por debajo de la lesión. Esto da lugar a limitaciones en las actividades de la vida diaria, como en la capacidad de conducción. En los últimos años, la mejora en esta tarea se ha llevado a cabo mediante el tratamiento a través de la realidad virtual (RV) en la rehabilitación de pacientes con lesión medular. El objetivo del presente estudio fue analizar la eficacia del uso de la RV en la capacidad de conducción en pacientes con lesión medular mediante una revisión sistemática.

Materiales y métodos. La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en las siguientes bases de datos: PubMed, Web of Science, PEDro, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Medline, Scopus y CINAHL, incluyendo los artículos publicados desde enero de 2000 hasta mayo de 2021.

Resultados. Tras el proceso de búsqueda, de un total de 51 artículos, se incluyeron siete; dos aplicaron RV inmersiva, y cinco, semiinmersiva. La simulación de conducción en carretera fue abordada por cuatro de ellos, uno de navegación, uno sobre motocicleta y uno en bicicleta.

Conclusiones. El uso de la RV en el entrenamiento de la capacidad de conducción ha supuesto mejoras en la calidad de vida, en las habilidades de conducción y en la reducción del miedo a conducir. A pesar de esto, se necesita más investigación, con un mayor número de pacientes, mayor número de sesiones y mejoras en los simuladores de conducción.

Palabras clave. Conducción. Fisioterapia. Lesión medular. Realidad virtual. Revisión sistemática. Simulador de conducción.

Introducción

La lesión medular (LM) es un proceso patológico que se caracteriza por afectar a la médula espinal y provocar alteraciones motoras y sensitivas por debajo de la lesión, y que llega a limitar la calidad de vida de estos pacientes [1]. La LM se puede clasificar según su extensión o el nivel de la lesión. Las principales causas de LM son los accidentes de tráfico, las caídas y la violencia (Organización Mundial de la Salud, 2014) [2]. Según Henao-Lema y Pérez-Parra [3], la relación promedio hombre:mujer es 4:1. Atendiendo al nivel de extensión, se divide en completa e incompleta, y para evaluar esta clasificación se utiliza la escala de la American Spinal Injury Association. El grado A corresponde a lesión completa; los grados B, C y D, a lesión incompleta; y el grado E, cuando no hay afectación [4]. Para evaluar el estado funcional de estos pacientes y su impacto en la vida diaria se utiliza el índice de Barthel, que es una medida del nivel de independencia en las actividades de la vida diaria [5,6].

La capacidad de conducción influye en la calidad de vida y el nivel de independencia de las per-

sonas; tras una LM se produce un impacto tanto en las actividades laborales como en las recreativas [7]. En este sentido, Greve et al [8] realizaron una revisión de alcance sobre las herramientas de evaluación de la capacidad de conducción en personas con y sin discapacidad, centrándose principalmente en el componente motor. En los últimos años, la evaluación y la mejora en la conducción se llevan a cabo mediante la realidad virtual (RV) como medida de tratamiento en la rehabilitación de estos sujetos [9]. La terapia de RV en la conducción puede producir una experiencia realista e interactiva entre el paciente y esa realidad, así como un entrenamiento de la habilidad de conducción más eficiente y seguro. La ventaja más importante de esta modalidad de rehabilitación es la capacidad para tomar decisiones por parte de los sujetos en un ambiente similar a la realidad [10]. De hecho, la RV ha supuesto una mejora en la capacidad funcional [11], el dolor neuropático, el equilibrio y la función aeróbica en los pacientes con LM [12]. Debido al incremento de lesiones medulares y al aumento de modelos de rehabilitación para esta enfermedad, como la integración de la RV y videojuegos en la

Departamento de Enfermería, Farmacología y Fisioterapia. Facultad de Medicina y Enfermería. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.

Correspondencia:

Dra. Amaranta de Miguel-Rubio. Departamento de Enfermería, Farmacología y Fisioterapia. Facultad de Medicina y Enfermería. Universidad de Córdoba. Avda. Menéndez Pidal, 7. E-14004 Córdoba.

E-mail:

z42mirua@uco.es

Aceptado tras revisión externa:

01.07.22.

Conflicto de intereses:

No declarado.

Cómo citar este artículo:

De Miguel-Rubio A, Rascón-Maíz J, Alba-Rueda A, Rodrigues-de-Souza DP. Mejora de la conducción en pacientes con lesión medular mediante el uso de la realidad virtual. Revisión sistemática. Rev Neurol 2022; 75: 31-40. doi: 10.33588/rn.7502.2022091.

© 2022 Revista de Neurología

terapia [13-18], surge la hipótesis de si la realización de una revisión sistemática mostrará la evidencia precisa para confirmar que la aplicación de la RV produce efectos positivos en las habilidades relacionadas con la conducción en sujetos con LM. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la eficacia del uso de la RV en la capacidad de conducción en pacientes con LM mediante una revisión sistemática.

Materiales y métodos

La presente revisión sistemática se ha realizado siguiendo las directrices e instrucciones que marca el protocolo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) para revisiones sistemáticas y metaanálisis [19].

Estrategia de búsqueda

Se efectuó una búsqueda electrónica desde marzo a mayo de 2021 en las siguientes bases de datos: PubMed, Web of Science, Physiotherapy Evidence Database (PEDro), Cochrane Central Register for Controlled Trial, Medline, Scopus y Cumulative Index to Nursing and Allied Health Literature (CINAHL), incluyendo los artículos publicados desde enero de 2000 hasta mayo de 2021. La estrategia de búsqueda incluía las siguientes palabras clave: (*spinal cord injury* OR *spinal cord injuries* OR *paraplegia*) AND (*virtual reality* OR *virtual reality exposure therapy* OR *video game*) AND (*virtual driving simulators* OR *driving*).

Criterios de selección

Se empleó el modelo PICOS (población, intervención, comparación, resultados, estudio) para definir los criterios de selección, en el que la población fueron adultos diagnosticados con LM; la intervención fue la terapia de RV (sistemas inmersivos, semiinmersivos y no inmersivos); la comparación eran adultos con y sin LM que realizaban terapia convencional; los resultados estaban específicamente relacionados con las variables sobre la evaluación de la capacidad de conducir en pacientes con LM; y los ensayos clínicos controlados y no controlados se consideraron como tipo de estudio. Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios para excluir los artículos: los participantes eran personas con LM y otras patologías, pero los datos de resultado no se proporcionaron para cada población específica; y publicaciones en forma de resumen.

Proceso de selección de artículos

Se realizó la selección de los artículos a través de los criterios de inclusión y exclusión mencionados anteriormente mediante dos revisores (A.M.R. y J.R.M.), excluyendo los artículos duplicados. Un tercer revisor (D.P.R.S.) participó en la decisión final en caso de duda. Además de realizar las búsquedas por revistas electrónicas y base de datos, también se llevó a cabo mediante las referencias bibliográficas de los artículos escogidos para esta revisión, con el objetivo de seleccionarlos en caso de cumplir los criterios de inclusión.

Evaluación de la calidad metodológica, nivel de evidencia y riesgo de sesgo

La calidad metodológica de cada estudio se evaluó utilizando la *Spinal Cord Injury Rehabilitation Evidence* (SCIRE) y la escala PEDro. El sistema SCIRE-PEDro utiliza diferentes categorías para analizar el diseño de la investigación y la calidad metodológica, graduando del nivel 1 (calidad máxima) al 5 (calidad más baja) [20].

Se utilizó la herramienta de la Colaboración Cochrane [21] para analizar el riesgo de sesgo, desarrollado por el *software* Review Manager 5.3. Esta herramienta incluye una evaluación de diferentes artículos en términos de riesgo de sesgo. Los estudios se clasifican como: 'riesgo incierto', 'bajo riesgo' y 'alto riesgo'. Dos revisores llevaron a cabo la evaluación del riesgo de sesgo. En caso de duda, un tercer evaluador (A.A.R.) intervino en la decisión final.

Resultados

La búsqueda bibliográfica recuperó un total de 51 registros: PubMed (cuatro), Web of Science (13), PEDro (seis), Cochrane Central Register for Controlled Trial (tres), Medline (nueve), Scopus (13) y CINAHL (tres). El diagrama de flujo de la selección de los artículos incluidos se realizó basándose en las recomendaciones PRISMA [19]. Finalmente, se incluyeron siete estudios en la presente revisión sistemática, como se muestra en la figura 1.

Los siete artículos seleccionados corresponden a: Carlozzi et al [7], Duffell et al [22], Ku et al [9], Recio et al [23], Santos et al [24], Sung et al [25], y Wu y Chen [10]. Las tablas I, II y III muestran las características básicas analizadas de los siete estudios mencionados anteriormente. El objetivo general de dichos artículos ha sido analizar las mejoras

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de artículos siguiendo las recomendaciones PRISMA.

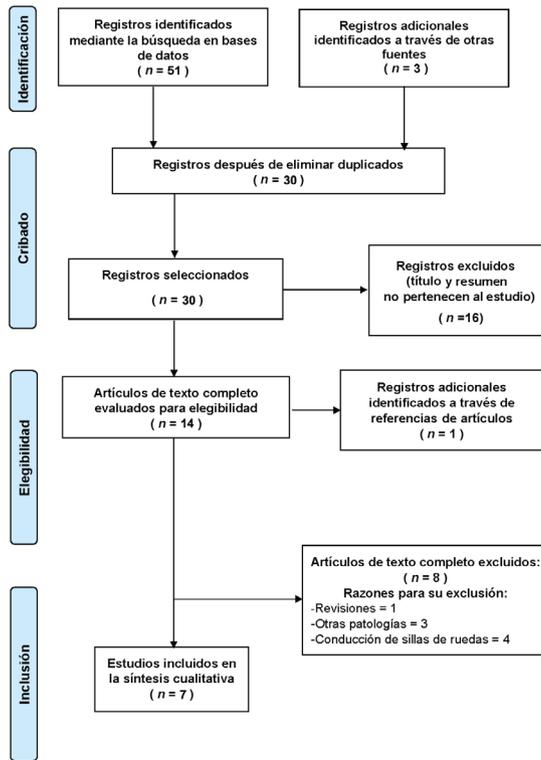


Figura 2. Riesgo de sesgo de cada uno de los artículos incluidos en la revisión sistemática.

	Aleatorización de la muestra	Ocultamiento de la asignación	Cegamiento de participantes y profesionales	Cegamiento de las medidas de resultado	Datos incompletos de los resultados	Información parcial de los resultados	Otros sesgos
Carlozzi et al 2012	+	-	-	-	?	+	?
Duffell et al 2019	-	-	-	-	?	+	?
Ku et al 2002	-	-	-	-	+	?	?
Recio et al 2013	-	-	-	-	+	?	?
Santos et al 2021	-	-	-	-	+	?	?
Sung et al 2012	-	-	-	-	+	+	?
Wu et al 2008	-	-	-	-	+	+	-

en las habilidades de conducción mediante la RV en personas con LM, medidas éstas de diversas maneras.

Los resultados más relevantes obtenidos fueron mejoras en las competencias de la conducción mediante la RV en sujetos con LM según tres artículos [7,9,25]. En menor medida, se obtuvieron mejoras en el manejo de la navegación tras 12 semanas [23]. La capacidad para mantener el equilibrio con un simulador de motocicleta fue similar en sujetos sanos con respecto a sujetos con LM, tanto en un entorno real como en la RV [7], así como beneficios a nivel motor en un simulador de bicicleta [22] y evaluación de la respuesta de frenado en un simulador de conducción virtual [24].

La valoración del riesgo de sesgo se muestra en las figuras 2 y 3. Se observa el 100% de riesgo de sesgo, cuando se evalúan los sesgos de selección, actuación y detección, de los artículos incluidos en la presente revisión, tanto de manera individual como al considerarlos de forma global.

Discusión

La presente investigación tuvo como objetivo analizar, a través de una revisión sistemática, la efectividad de las intervenciones de RV sobre la mejora en las habilidades de la conducción en pacientes con LM. Respecto al diseño de estudio, se trata de un ensayo controlado aleatorizado [7], tres estudios pre-post controlados [9,10,24] y tres estudios pre-post no controlados [22,23,25]. El tamaño muestral se compone de 145 sujetos, de los cuales 114 eran personas con LM y 31 sin LM. Predominaba el género masculino, 133 individuos, respecto al femenino, con 12. La mayoría de los sujetos con LM presentaba la lesión a nivel torácico, con un 71%; a nivel cervical (16,1%); y a nivel lumbar (12,9%).

Conducir requiere cierto nivel de capacidad física, habilidades cognitivas de toma de decisiones, percepción sensorial y la coordinación de cada una de estas habilidades en un momento de aviso [26]. Varios estudios citan la importancia de la conduc-

Tabla 1. Principales características de los participantes en cada estudio.

	Participantes (n)	Edad (años) (Media ± DE)	Sexo F M	Grado de ASIA	Nivel de la LM (n)	Tiempo desde la LM (media de años)
Carlozzi et al 2012 [7] Estados Unidos	n = 52 GI = 26 (con LM) GI = 26 (con LM)	37,9 ± 13,3	7 45	ND	ND	8,9
Duffell et al 2019 [22] Reino Unido	n = 11 GI = 11 (con LM)	56,54 ± 16,78	1 10	C = 8 D = 3	T7, T12, T2 (3), C1 (2), C3, C4, T5, T3	7,2
Ku et al 2002 [9] Corea	n = 25 GC = 10 (sin LM) GI = 15 (con LM)	GC = 31,4 ± 1,3 GI = 37,8 ± 5,8	1 24	ND	Torácica (13) Lumbar (2)	1,2
Recio et al 2013 [23] Estados Unidos	n = 3 GI = 3 (con LM)	52,3 ± 1,7	1 2	A = 2 D = 1	C7, C6, T5	18,7
Santos et al 2021 [24] Brasil	n = 40 GC = 20 (sin LM) GI = 20 (con LM)	GC = 38,0 ± 5,8 GI = 38,1 ± 3,6	0 40	ND	ND	ND
Sung et al 2012 [25] Taiwán	n = 12 GI = 12 (con LM)	28,5 ± 8,9	2 10	ND	C6-L2: LM cervical incompleta: C6 (3), LM lumbar incompleta: L2 (1), LM torácica y lumbar completa: T3 (1), T4 (1), T6 (1), T8 (1), T10 (1), T11 (1), T12 (1) y L2 (1)	1,9
Wu y Chen 2008 [10] Taiwán	n = 2 GC = 1 (sin LM) GI = 1 (con LM)	GC = 23 años GI = 71 años	0 2	ND	T9	41

ASIA: *American Spinal Injury Association Impairment Scale*; F: femenino; GC: grupo control; GI: grupo de intervención; LM: lesión medular; M: masculino; n: número de sujetos; ND: no descrito.

ción para mantener la participación comunitaria y la realización de actividades de la vida diaria, que pueden, a su vez, facilitar la independencia [27-29].

En la presente revisión sistemática, cuatro artículos [7,9,24,25] llevaron a cabo una simulación sobre la conducción virtual en ambientes de ciudad, carreteras, autovías, cambios de sentido, giros, paso por túneles, etc. En estas condiciones se valoraba su capacidad de conducir mediante controles manuales para el acelerador y el freno en los pacientes con LM. El estudio de Carlozzi et al [7] comparó dos grupos de LM con dos modalidades diferentes de RV. Los resultados no indicaron grandes diferencias, pero se observó mayor seguridad y confort en el grupo con *three screen display* debido a que el grupo con *head mounted display* necesitó mayor duración en las paradas y tuvo más desviaciones fuera de carretera. Estos hallazgos coinciden con lo señalado por Classen et al [30] y Nichols y Patel [31], quienes consideran que los simuladores *three screen display* son los mejores. En este estudio [7] se demuestra la eficacia de la RV para la rehabilita-

ción de la conducción en la LM, así como en el de Snider et al [32] para el retraso cognitivo en la parálisis cerebral, en el de Mirelman et al [33] para el retraso motor después de un ictus, en el de Whitney et al [34] para el equilibrio y el control vestibular, en el de Sveistrup et al [35] para mejorar el equilibrio y la movilidad después de un ictus, y en el de Yip y Man [36] en el entrenamiento de las habilidades sociales tras una lesión cerebral.

Ku et al [9] contrastaron una muestra de sujetos sin LM (10) y otra compuesta por pacientes (15) con lesiones a nivel torácico y lumbar. Para realizar la prueba se adaptó un coche a un ordenador para llevar a cabo la simulación virtual. Las personas con LM realizaban la prueba con controles manuales, mientras que, en la muestra de personas sanas, se efectuaba con los pies. No se obtuvieron diferencias respecto a la manipulación entre ambos grupos; además, 11 sujetos con LM redujeron el miedo a conducir. El presente estudio trata de evaluar habilidades distintas a la percepción y la cognición, tal y como investigaron Galski et al [37,38], pioneros

Tabla II. Principales características de las intervenciones.

	Tipo de terapia	Simulador	Intensidad	Duración de la sesión	Duración de la intervención
Carlozzi et al 2012 [7] Ensayo controlado aleatorizado Nivel 2	RV inmersiva	Simulador de conducción: GI1: HMD GI2: TSD	ND	ND	ND
Duffell et al 2019 [22] Estudio piloto. Pre-post test, no controlado Nivel 4	RV semiinmersiva	Simulador de bicicleta: iCycle. El sujeto se encuentra en silla de ruedas con los pies apoyados en un reposapiés con manivelas, la velocidad de cadencia estaba determinada por un motor. La biorretroalimentación se consiguió a través del FES mediante la colocación de electrodos en el cuádriceps, los isquiotibiales y los glúteos con el objetivo de estimular la contracción voluntaria	3 veces/semana	60 minutos	4 semanas
Ku et al 2002 [9] Prepost test controlado Nivel 4	RV inmersiva	Simulador de conducción: GC: controles con los pies GI: controles con las manos	ND	20 minutos	ND
Recio et al 2013 [23] Estudio piloto. Pre-post test, no controlado Nivel 4	RV semiinmersiva: a través de sensores que retroalimentan los movimientos del velero virtual con los del simulador. Éstos se encuentran en el casco, el timón y la escota mayor	Simulador de vela: cabina de un velero accionada con un pistón neumático conectada a un software, el simulador se maneja con joystick que el sujeto lleva en la mano derecha y la vela se recorta con la otra mano	1 vez/semana	60 minutos	12 semanas
Santos et al 2021 [24] Estudio transversal, Pre-post test, controlado Nivel 4	RV semiinmersiva: la ruta incluyó una prueba de frenado en la cual tenían que aplicar los frenos cuando apareciera la palabra stop en la pantalla	Simulador de conducción: compuesto por un volante, dial de velocidad, asiento, cinturón de seguridad, faros GI: controles manuales GC: pedales con acelerador y freno. Tres monitores LCD de 42'.	ND	ND	ND
Sung et al 2012 [25] Pre- post test, no controlado Nivel 4	RV semiinmersiva	Simulador de conducción: un dispositivo de control manual para el acelerador y el freno.	2 veces/semana	30 minutos	6 semanas
Wu et al 2008 [10] Estudio piloto. Pre-post test, controlado Nivel 4	RV semiinmersiva: ambos participantes realizaron la prueba de RV El GI realizó una prueba en un entorno real	Simulador de motocicleta: GI y GC: compuesto por un simulador de un solo eje que se puede inclinar hacia adelante y hacia atrás, una tabla de presión debajo del cojín para sentarse y un acelerómetro de tres ejes fijados en el pecho del participante para registrar el movimiento del tronco La prueba en entorno real (GI) consistió en una silla de ruedas con tres acelerómetros de tres ejes; uno se fijó en el piso de la plataforma, otro en la dirección y el último en el pecho del piloto	ND	ND	ND

FES: estimulación eléctrica funcional; GC: grupo control; GI: grupo de intervención; HMD: *head mounted display*; ND: no descrito; RV: realidad virtual; TSD: *three screen display*.

Tabla III. Variables, escalas y principales resultados de los artículos seleccionados.

	Escenario	Habilidades	Medida	Instrumentos de medida	Resultados
Carlozzi et al 2012 [7]	Residencial, escuelas, comercios y autopista. El examinador variaba la ruta tanto en el orden de presentación de la ruta como en el nivel de dificultad de la zona (permitiendo cambio en el número de vehículos estáticos, vehículos dinámicos y ocho desafíos)	Número de colisiones en carretera, número de colisiones fuera de carretera, mayor duración de parada, número de veces que se aplicaron los frenos	Rendimiento en las habilidades de conducción y cuestionario del simulador	Enfermedad del simulador Cuestionario y software de variables del simulador de conducción.	Las personas con HMD tenían más colisiones fuera de la carretera en la zona residencial que los individuos con TSD. Los individuos en la condición de HMD se detuvieron por mayor duración en las tres señales de alto que las personas con TSD. La prueba exacta de Fisher no indicó diferencias de grupo significativas ($p = 0,23$) No hubo diferencias significativas entre los grupos para la enfermedad del simulador para antes y después de la exposición virtual; $p = 0,22$ (HMD); $p = 0,32$ (TSD)
Duffell et al 2019 [22]	Cada sesión consistió en un calentamiento, vuelta a un velódromo (hasta cinco carreras separadas con 2-3 minutos de descanso), ciclismo libre y vuelta al reposo	Provocar la contracción voluntaria y el rendimiento ciclista	Estándares para la clasificación neurológica de las puntuaciones motoras del SCI-QL, la escala Oxford para extensión y flexión de la rodilla y flexión plantar y dorsal del tobillo, la escala Ashworth, la prueba de caminata de 10 metros y el cuestionario sobre medida de independencia	Cuestionarios, escalas y análisis de datos a través de variables; producción de potencia voluntaria inicial, tiempo de entrenamiento, amplitud de estimulación, edad, tiempo desde la lesión y puntuación motora	En seis pacientes se obtuvieron mejoras con la puntuación motora. PO no se correlacionó con cambios en la puntuación motora ($p > 0,05$).
Ku et al 2002 [9]	Carreteras de una ciudad divididas en 18 secciones que incluyen edificios, parques, tramo de túneles, cuatro giros a la izquierda, cuatro giros a la derecha, cinco semáforos, cuatro señales de alto y dos cambios de carril	Velocidad media, estabilidad de la dirección, línea central de infracciones, infracciones de las señales de tráfico y tiempo de conducción	Habilidades de conducción y cuestionario de preguntas al finalizar la sesión	Cuestionario de dos preguntas: – ¿Cómo de realista le parecía el simulador de conducción de RV? – ¿Cuánto se redujo su miedo a la conducción?	Las habilidades (cinco) de conducción no variaron significativamente entre los dos grupos $p > 0,05$ En los tramos de carretera, el promedio de velocidad (GI) fue de 45,6 km menos que los 61,2 km ($p < 0,05$) del GC en las secciones 1, 2, 3, 4, 8, 10, 11, 12 y 13 Once pacientes (73%) informaron de que su miedo a conducir se redujo y su puntuación media en la pregunta de grado de realismo fue del 51,5%
Recio et al 2013 [23]	Los sujetos navegaron por simuladores de cursos virtuales mostrados en la pantalla	Maniobras de navegación: dirección con vientos cruzados, dirección a favor y en contra del viento, cambio de rumbo, borde de la baliza a barlovento, marca de ala redondeada, redondeado a sotavento, navegar alrededor de un curso triangular en <3 minutos	Cuestionario de calidad de vida de lesiones de médula espinal al principio y al final de las 12 semanas: calificación física, limitaciones sociales, angustia, sentimientos depresivos, pérdida de independencia percibida y otros problemas relativos a la lesión	Maniobras de navegación (competición) y SCI-QL23	Los tres sujetos experimentaron mejoras en el cuestionario de calidad de vida para lesiones de la médula espinal, lo que evidencia una mejora en la autoconfianza y el dominio. Hubo un aumento en la calificación general de la calidad de vida con puntuaciones del SCI-QL23; $p = 0,046$
Santos et al 2021 [24]	Escenario rural sin tráfico con día soleado en una calle asfaltada con curvas suaves y tramos rectos	Tiempo de frenada entre sujetos con y sin parapleja. Asociación entre esta respuesta de frenado con variables demográficas, motoras y cognitivas	Tiempo de respuesta del freno en el simulador de conducción, variables neuropsicológicas, edad, años de conducción, fuerza de agarre y años de escolarización	Prueba de tiempo de frenado del simulador y test neuropsicológico (tiempo de reacción): incluyó tres pruebas: tiempo de reacción, elección del tiempo de reacción y pasa/no pasa	No hubo diferencias entre los grupos en la respuesta de frenado del simulador; $p > 0,05$. Se demostró una relación entre los años de conducción y la escolarización con el rendimiento en la habilidad de frenado

Tabla III. Variables, escalas y principales resultados de los artículos seleccionados (cont.).

	Escenario	Habilidades	Medida	Instrumentos de medida	Resultados
Sung et al 2012 [25]	Cinco rutas con semáforos, paso elevado, obstáculos, paso subterráneo, una ruta de 6 km con secciones curvas y rectas. Límite de velocidad máximo de 50 km/h	Seis habilidades de medida: tiempo de conducción total, velocidad media, violación de la línea central, violación de la línea de parada, colisiones, y estabilidad de frenado y de dirección	Habilidades de conducción	Prueba de simulador de conducción antes y después de la intervención Medida de rendimiento del simulador	Los test de obstáculos y señales de tráfico revelaron efectos positivos en términos de tiempo total de conducción, velocidad media y disminución de la distancia a la línea de parada. En las pruebas de paso elevado, aumentó la velocidad media con menos variación de la velocidad y menos violación de la línea central después del entrenamiento. En los túneles, aumentó la velocidad media.
Wu y Chen 2008 [10]	Vía urbana: en línea recta con carretera plana, barricada, barreras cuesta abajo y barreras cuesta arriba. Prueba en entorno real: ruta en forma de U	Desempeño de la conducción: velocidad, freno, acelerador, dirección, tiempo total y desplazamiento del COP. Prueba en entorno real: tiempo	Rendimiento en la conducción	Se fijó en el pecho del participante un acelerómetro de tres ejes para registrar el movimiento del tronco durante la prueba En el test de carretera se utilizaron tres acelerómetros de tres ejes; uno en el piso de la plataforma, otro en la dirección y otro en el pecho del paciente	El desplazamiento del COP en el GC es menor que en el GI durante una línea recta, mientras que el desplazamiento del COP al pasar una cuesta arriba era mayor en el GC que en el GI. La velocidad media del GC es mayor en toda RV, pero el tiempo de reacción es más corto que en el GI. La aceleración en el ambiente virtual era más pequeña que la aceleración real. El GC no usó el freno en ninguna situación

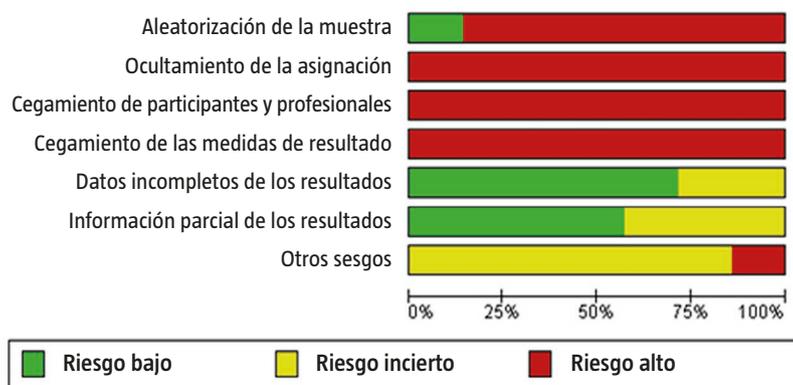
COP: centro de presiones; GC: grupo control; GI: grupo de intervención; HMD: *head mounted display*; PO: *power output*; RV: realidad virtual; SCI-QL: *Spinal Cord Injury Quality of Life Questionnaire*; TSD: *three screen display*.

en valorar habilidades dirigidas a la conducción en pacientes con lesiones neurológicas.

Sung et al [25] evaluaron la evolución de las habilidades de conducción en una muestra de 12 personas con LM que no podían utilizar las piernas para conducir, que no cursaban con deterioro cognitivo ni visual y que tenían carné de conducir antes de la lesión. Para ello se utilizó un coche adaptado con pedales manuales conectado a un ordenador que facilitaba la retroalimentación con la RV. Los resultados revelaron un incremento de la velocidad media en el tiempo total de conducción. Los sujetos demostraron mayor precisión durante una señal de parada, una menor variación de la velocidad y una menor transgresión de la zona central de paso elevado, debido a la experiencia en la conducción de dichos sujetos. Durante las pruebas de conducción por pasos elevados y subterráneos influyó que las posturas mantenidas durante esos espacios afectaban al equilibrio, lo que, a su vez, podría explicar la ausencia de una disminución del tiempo total de conducción en esos tramos. Para Lew et al [39], podría ser una alternativa a entrenamientos convencionales potencial-

mente peligrosos o servir para preparar una prueba de tráfico. Santos et al [24] compararon la respuesta de frenado entre un grupo con LM y otro sin LM a través de un simulador de conducción virtual. Para evaluar esta habilidad de conducción, los sujetos debían de ejercer los frenos cuando apareciera la palabra *stop* en la pantalla. Esta investigación se basó en el estudio de Martin et al [40] valorando la distancia mínima de frenado frente a un obstáculo entre sujetos jóvenes y mayores. Los resultados obtenidos para la respuesta de frenado en los individuos con paraplejía no difieren significativamente de los de los sujetos sin LM, lo que es indicativo de una buena adaptación al sistema de frenos manual que compensa la falta de movimiento en los miembros inferiores [24]. Estos resultados coinciden con lo descrito por Ku et al [9]; no obstante, el estudio de Peters [29] registra para los conductores con tetraplejía un tiempo de reacción algo más largo en comparación con el grupo sin LM, así como mayor esfuerzo al frenar y acelerar.

Recio et al [23] investigaron sobre las maniobras de navegación a través de cursos de vela virtuales mediante una cabina conectada a un ordenador y a

Figura 3. Riesgo general de sesgo. Cada categoría se presenta en porcentajes.

un *software*, con unos sensores que posibilitaban que las acciones realizadas por personas con LM se retroalimentaran con la RV y viceversa, tal y como se hizo en los estudios de Binns et al [41,42], lo que indica que este simulador podía utilizarse con discapacidades más graves. Las mejoras experimentadas por los pacientes se realizaron a través del cuestionario SCI-QL. Entre los resultados se obtuvo una mejora en la calidad física, que se trasladaba a un incremento en la calidad de vida y el bienestar social.

El objetivo del estudio de Wu et al [10] fue valorar el entrenamiento en motocicleta en personas con LM, comparando la conducción de un sujeto con LM respecto a otro sin LM, en un medio virtual, así como los resultados del paciente con LM tanto en la simulación como en un entorno real. Los resultados obtenidos fueron similares a los notificados en el estudio de Li [43], en el que las personas sin LM, al tener mejor control de las extremidades inferiores y capacidad de equilibrio, pueden soportar más cambios de centro de presiones. La aceleración en el estudio de Wu et al [10] fue mayor en la realidad que en la simulación. En ninguna situación fue necesario que los sujetos sin LM detuvieran la motocicleta.

Duffell et al [22] intentan provocar el efecto voluntario de la contracción en sujetos con LM en un simulador de bicicleta. Se llevó a cabo mediante unos pedales donde reposaban los pies del paciente conectado con la RV. Para provocar la estimulación voluntaria se colocaron unos electrodos en la musculatura glútea, del cuádriceps y los isquiotibiales en ambos miembros. Este estudio muestra similitudes con lo descrito por Ambrosini et al [44] al comparar la estimulación eléctrica funcional en una muestra de sujetos con ictus en la que un grupo recibió esti-

mulación y otro placebo. La evidencia positiva de la utilización de la estimulación eléctrica funcional en este artículo [22] se puede deber a cambios neuroplásticos del sistema nervioso central [45-47] y efectos terapéuticos en la estimulación del nervio peroneo [48]. La mejora obtenida en las puntuaciones motoras coincide con lo señalado por Morrison et al [49] en sujetos con LM incompleta, ostentando valores mayores en el entrenamiento con el iCycle que con el entrenamiento de la marcha.

No obstante, a pesar de las mejoras señaladas en la presente revisión sistemática mediante la utilización de simuladores de conducción virtual, debido al coste tan elevado de dichos dispositivos y a la necesidad de grandes espacios para maniobrar, habría que considerar y apoyar los simuladores de conducción de bajo coste, como los descritos por Rodseth et al [50] validados para sujetos con LM, Reimer et al [51] para sujetos con trastorno por déficit de atención e hiperactividad, y Bedard et al [52], Johnson et al [53] y Kraft et al [54] para sujetos sin LM.

Con respecto a la calidad metodológica de los estudios incorporados en la revisión sistemática, cabe subrayar que sólo el de Carozzi et al [7] presenta una calidad moderada (nivel de evidencia 2, puntuación de 5/10 en la escala PEDro). Al comparar el riesgo de sesgo para cada uno de los artículos seleccionados (Fig. 2), se observa que el estudio de Carozzi et al [7] es el que presenta el más bajo riesgo de sesgo, ya que, a su vez, es el único ensayo controlado aleatorizado incluido en la presente revisión sistemática. El que mayor riesgo de sesgo ostenta es el estudio de Wu et al [10]. Por otro lado, al analizarlos conjuntamente, los menores sesgos se han obtenido para datos incompletos de los resultados (72%) y en la información parcial de éstos (57%).

Limitaciones

Cabe destacar la poca cantidad de artículos encontrados sobre el uso de la RV en el tratamiento de la conducción para pacientes con LM. También hay que señalar la pequeña muestra de pacientes sobre la que se ha trabajado, lo cual dificulta llegar a conclusiones más exactas. La duración del tratamiento era de poco tiempo, pocas sesiones y en algunos casos no se especificaba. Otro aspecto que se debe tener en cuenta es la escasez de grupos de control de los artículos seleccionados. La mayoría de los pacientes con LM que se incluyen en el estudio presentaba historial de conducir antes de la lesión, lo que puede sesgar los resultados. Por todo ello, podemos deducir que no se han conseguido resultados precisos para nuestra hipótesis.

Conclusiones

En la presente revisión sistemática se ha detallado el uso de la RV en el entrenamiento de la conducción en pacientes con LM, identificando y evaluando los distintos sistemas de RV que se usan con fines terapéuticos en dichos sujetos. En ambos sistemas (inmersivos y semiinmersivos) se han encontrado escasos resultados significativos. No obstante, podemos señalar mejoras en su calidad de vida, incremento en las habilidades de conducción y reducción del miedo a conducir.

A pesar de lo indicado, se necesitan más estudios de alta calidad metodológica, con mayor tamaño muestral, más número de sesiones y simuladores de conducción más reales, para comprobar con mayor precisión la efectividad de la RV en la mejora de las habilidades de conducción en personas con LM.

Bibliografía

1. Brizuela G, Romero JL, Beltrán J. Lesión medular y ejercicio físico: revisión desde una perspectiva deportiva. *REDIS* 2016; 4: 163-85.
2. Organización Mundial de la Salud (OMS). *International Perspectives on Spinal Cord Injury. Summary*. Malta: Swiss Paraplegic Research (SPF); 2014.
3. Henao-Lema CP, Pérez-Parra JE. Lesiones medulares y discapacidad: revisión bibliográfica. *Aquichan* 2010; 10: 157-72.
4. Strassburguer-Lona K, Hernández-Porras S, Barquín-Santos E. Lesión medular: guía para manejo integral del paciente con LM crónica. Madrid: Aspaym Madrid; 2014.
5. Huete-García A, Díaz-Velázquez E. Lesión medular. En Esclarín de Ruz A, ed. *Análisis sobre la lesión medular en España*. Toledo: Federación Nacional Aspaym; 2018. p. 11-22.
6. Álvarez-González CR, Cardoso-Suárez T, Zamora-Pérez F, Pérez-Pérez AE, Martínez-Aching GT. Caracterización del paciente lesionado medular según deterioro neurológico y discapacidad. *Rev Ecuat Neurol* 2009; 18: 17-9.
7. Carlozzi NE, Gade V, Rizzo AS, Tulsy DS. Using virtual reality driving simulators in persons with spinal cord injury: three screen display versus head mounted display. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2013; 8: 176-80.
8. Greve JM, Santos L, Alonso AC, Tate DG. Driving evaluation methods for able bodied persons and individuals with lower extremity disabilities: a review of assessment modalities. *Clinics (Sao Paulo)* 2015; 70: 638-47.
9. Ku JH, Jang DP, Lee JH, Lee BS, Kim IY, Kim SI. Development and validation of virtual driving simulator for the spinal injury patient. *Cyber Psychol Behav* 2002; 5: 151-6.
10. Wu SY, Chen JJ. Development of modified motorcycle simulator assessment and training system for the spinal cord injury patients. *18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence* 2008; 301-4.
11. 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. *J Clin Med* 2020; 9: 2065.
12. De Araújo AVL, Neiva JFDO, Monteiro CBDM, Magalhães FH. Efficacy of virtual reality rehabilitation after spinal cord injury: a systematic review. *Biomed Res Int* 2019; 2019: 7106951.
13. Maresca G, Maggio MG, Buda A, La Rosa G, Manuli A, Bramanti P et al. A novel use of virtual reality in the treatment of cognitive and motor deficit in spinal cord injury. *Medicine* 2018; 97: 1-8.
14. Jaramillo JP, Johanson ME, Kiratli B. Upper limb muscle activation during sports video gaming of persons with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 2019; 42: 77-85.
15. 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. *J Spinal Cord Med* 2017; 41: 223-9.
16. Trincado-Alonso F, Dimbwadyo-Terrer I, de los Reyes-Guzmán A, López-Monteagudo P, Bernal-Sahún A, Gil-Agudo A. Kinematic metrics based on the virtual reality system Toyra as an assessment of the upper limb rehabilitation in people with spinal cord injury. *Biomed Res Int* 2014; 2014: 904985.
17. Peñasco-Martín B, De los Reyes-Guzmán A, Gil-Agudo A, Bernal-Sahún A, Pérez-Aguilar B, De la Peña-González AI. Aplicación de la realidad virtual en los aspectos motores de la neurorrehabilitación. *Rev Neurol* 2010; 51: 481-8.
18. Gil-Agudo A, Dimbwadyo-Terrer I, Peñasco-Martín B, de los Reyes-Guzmán A, Bernal-Sahún A, Berbel-García A. Experiencia clínica de la aplicación del sistema de realidad TOyRA en la neurorrehabilitación de pacientes con lesión medular. *Rehabilitación* 2012; 46: 41-8.
19. Hutton B, Catalá-López F, Moher D. The PRISMA statement extension for systematic reviews incorporating network meta-analysis: PRISMA-NMA. *Med Clin* 2016; 147: 262-6.
20. Eng JJ, Teasell R, Miller WC, Wolfe DL, Townson AF, Aubut J-A, et al. Spinal cord injury rehabilitation evidence: methods of the scire systematic review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2007; 13: 1-10.
21. Higgins JP, Altman DG, Gotzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaborations tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* 2011; 343: 5928.
22. Duffell LD, Paddison S, Alahmary AF, Donalson N, Burridge J. The effects of FES cycling combined with virtual reality racing biofeedback on voluntary function after incomplete SCI: a pilot study. *J Neuroeng Rehabil* 2019; 16: 149.
23. Recio AC, Becker D, Morgan M, Saunders NR, Schramm LP, McDonald JW. Use of a virtual reality physical ride-on sailing simulator as a rehabilitation tool for recreational sports and community reintegration: a pilot study. *Am J Phys Med Rehabil* 2013; 92: 1104-9.
24. Santos S, Brech GC, Castilho Alonso A, D'Andréa Greve JA. Brake response time between male drivers with and without paraplegia: Association between sociodemographic, motor and neurological characteristics. *Traffic Injury Prevention* 2021; 22: 207-11.
25. Sung WH, Chiu TY, Tsai WW, Cheng H, Chen JJ. The effect of virtual reality-enhanced driving protocol in patients following spinal cord injury. *J Chin Med Assoc* 2012; 75: 600-5.
26. Boyce MW, Fekety DK, Smither JA. Resource consumption and simulator driving performance using adaptive controls. *Assist Technol* 2013; 25: 158-65.
27. Gray DB, Hollingsworth HH, Stark SL, Morgan KA. Participation survey/mobility: psychometric properties of a measure of participation for people with mobility impairments and limitations. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87: 189-97.
28. Lew HL, Rosen PN, Thomander D, Poole JH. The potential utility of driving simulators in the cognitive rehabilitation of combat-returnees with traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil* 2009; 24: 51-6.
29. Peters B. Driving performance and workload assessment of drivers with tetraplegia: an adaptation evaluation framework. *J Rehabil Res Dev* 2001; 38: 215-24.
30. Classen S, Monahan M, Canonizado M, Winter S. Utility of an occupational therapy driving intervention for a combat veteran. *Am J Occup Ther* 2014; 68: 405-11.
31. Nichols S, Patel H. Health and safety implications of virtual reality: a review of empirical evidence. *Appl Ergon* 2002; 33: 251-71.

32. Snider L, Majnemer A, Darsaklis V. Virtual reality as a therapeutic modality for children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil* 2010; 13: 120-8.
33. Mirelman A, Patrilli BL, Bonato P, Deutsch JE. Effects of virtual reality training on a gait biomechanics of individuals post-stroke. *Gait Posture* 2010; 31: 433-7.
34. Whitney SL, Sparto PJ, Hodges LE, Babu SV, Furman JM, Redfern MS. Responses to a virtual reality grocery store in persons with and without vestibular dysfunction. *Cyberpsychol Behav* 2006; 9: 152-6.
35. Sveistrup H, McComas J, Thornton M, Marshall S, Finestone H, McCormick A, et al. Experimental studies of virtual reality- delivered compared to conventional exercise programs for rehabilitation. *Cyberpsychol Behav* 2003; 6: 245-9.
36. Yip BC, Man DW. Virtual reality (VR)-based community living skills training for people with acquired brain injury: a pilot study. *Brain Inj* 2009; 23: 1017-26.
37. Galski T, Ehle HT, Williams JB. Off-road driving evaluations for persons with cerebral injury: a factor analytic study of predriver and simulator testing. *Am J Occup Ther* 1997; 51: 352-9.
38. Galski T, Ehle HT, Williams JB. Estimates of driving abilities and skills in different conditions. *Am J Occup Ther* 1998; 52: 268-75.
39. Lew HL, Poole JH, Lee EH, Jaffe DL, Huang HC, Brodd E. Predictive validity of driving-simulator assessments following traumatic brain injury: a preliminary study. *Brain Inj* 2005; 19: 177-88.
40. Martin PL, Audet T, Corriveau H, Hamel M, D'Amours M, Smeesters C. Comparison between younger and older drivers of the effect of obstacle direction on the minimum obstacle distance to brake and avoid a motor vehicle accident. *Accid Anal Prev* 2010; 42: 1144-50.
41. Binns J, Bethwaite F, Saunders NR. Development of more realistic sailing simulator. The 1st High Performance Yacht Design Conference. Auckland, NZ, 2002.
42. Binns J, Maher R, Chin C, Bose N. Development and use of a computer controlled sailing simulation. Conference Proceedings SIMTECT. Australia, 2009.
43. Li CF. Study on the effect of uneven road on the postural stability of spinal cord injury with motorcycle riding simulator. [Master thesis]. Taoyuan City, Taiwan: Department of Mechanical Engineering. National Central University; 2008.
44. Ambrosini E, Ferrante S, Pedrocchi A, Ferrigno G, Molteni F. Cycling induced by electrical stimulation improves motor recovery in postacute hemiparetic patients: a randomized controlled trial. *Stroke* 2011; 42: 1068-73.
45. Rushton DN. Functional electrical stimulation and rehabilitation-an hypothesis. *Med Eng Phys* 2003; 25: 75-8.
46. Gandolla M, Ferrante S, Molteni F, Guanziroli E, Frattini T, Martegani A, et al. Re-thinking the role of motor cortex: context-sensitive motor outputs? *Neuroimage* 2014; 91: 366-74.
47. Gandolla M, Ward NS, Molteni F, Guanziroli E, Ferrigno G, Pedrocchi A. The neural correlates of long-term carryover following functional electrical stimulation for stroke. *Neural Plast* 2016; 2016: 4192718.
48. Jochumsen M, Niazi IK, Signal N, Nedergaard RW, Holt K, Haavik H, et al. Pairing voluntary movement and muscle-located electrical stimulation increases cortical excitability. *Front Hum Neurosci* 2016; 10: 482.
49. Morrison SA, Lorenz D, Eskay CP, Forrest GF, Basso DM. Longitudinal recovery and reduced costs after 120 sessions of Locomotor training for motor incomplete spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2018; 99: 555-62.
50. Rodseth J, Washabaugh EP, Al Haddad A, Kartje P, Tate DG, Krishnan C. A novel lowcost solution for driving assessment in individuals with and without disabilities. *Appl Ergon* 2017; 65: 335-44.
51. Reimer B, D'Ambrosio LA, Coughlin JE, Kafriksen ME, Biederman J. Using self-reported data to assess the validity of driving simulation data. *Behav Res Methods* 2006; 38: 314-24.
52. Bedard MB, Parkkari M, Weaver B, Riendeau J, Dahlquist M. Assessment of driving performance using a simulator protocol: validity and reproducibility. *Am J Occup Ther* 2010; 64: 336-40.
53. Johnson MJ, Chahal T, Stinchcombe A, Mullen N, Weaver B, Bedard M. Physiological responses to simulated and on-road driving. *Int J Psychophysiol* 2011; 81: 203-8.
54. Kraft M, Amick MM, Barth JT, French LM, Lew HL. A review of driving simulator parameters relevant to the Operation Enduring Freedom/Operation Iraqi Freedom veteran population. *Am J Phys Med Rehabil* 2010; 89: 336-44.

Driving improvement in spinal cord injury patients using virtual reality. Systematic review

Introduction. Spinal cord injury is a pathology which causes motor and sensory impairment under the region damaged by the lesion. This results in limitations in daily activities such as driving. In recent years, improvement in this task has been achieved by means of virtual reality treatment in the rehabilitation of patients with spinal cord injury. The aim of the present study was to analyze, through a systematic review, the effectiveness of using virtual reality on driving skills in patients with spinal cord injury.

Materials and methods. The literature search was carried out using the following databases: PubMed, Web of Science, PEDro, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Medline, Scopus and CINAHL, including articles published from January 2000 to May 2021.

Results. After the research process, out of a total of 51 articles, 7 were included: 2 applied immersive VR and 5 semi-immersive VR. Road driving simulation was addressed by 4 of them: 1 on sailing, 1 on motorbike and 1 on bicycle.

Conclusions. The use of virtual reality in driving skills training has led to improvements in quality of life, driving skills and reduction of fear of driving. Despite these findings, more research, patients, sessions and improvements are needed for a clearer understanding of this topic and its usefulness.

Key words. Driving. Driving simulator. Physical therapy. Spinal cord injury. Systematic review. Virtual reality.