



REVISIÓN

Empleo de sistemas de realidad virtual como método de propiocepción en parálisis cerebral: guía de práctica clínica

E. Monge Pereira^a, F. Molina Rueda^{b,*}, I.M. Alguacil Diego^b, R. Cano de la Cuerda^b, A. de Mauro^c y J.C. Miangolarra Page^{b,d}

^a Centro de Terapia Integral del Niño, Momo, Madrid, España

^b Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España

^c Departamento de Aplicaciones Biomédicas, Centro de Investigación aplicada Vicomtech-IK4, San Sebastián, España

^d Servicio de Rehabilitación y Medicina Física, Hospital Universitario de Fuenlabrada, Madrid, España

Recibido el 7 de septiembre de 2011; aceptado el 17 de diciembre de 2011

Accesible en línea el 17 de febrero de 2012

PALABRAS CLAVE

Aprendizaje motor;
Control postural;
Desarrollo sensoriomotor;
Equilibrio;
Parálisis cerebral;
Realidad virtual

Resumen

Introducción: Las limitaciones para realizar actividades funcionales en niños y adolescentes con parálisis cerebral son importantes. El empleo de sistemas de realidad virtual constituye un nuevo enfoque de tratamiento que refuerza el aprendizaje motor orientado a tareas. El objetivo del presente trabajo consiste en analizar qué repercusión tiene el empleo de sistemas de realidad virtual en la mejora y adquisición de habilidades funcionales; y evaluar la evidencia científica existente para determinar qué fuerza de recomendación tienen dichas intervenciones. **Desarrollo:** Se incluyeron todos los artículos disponibles a texto completo independientemente de su metodología. Se consultaron las siguientes bases de datos: Pubmed (Medline), PEDro, Embase (OVID-Elsevier), Cochrane Library Plus, Medline (OVID), CINHALL, ISI web Knowledge. Se evaluaron la calidad metodológica, el nivel de evidencia científica y la fuerza de las recomendaciones con las herramientas: *Critical Review Form-Quantitative Studies and the Guidelines for Critical Review Form-Quantitative Studies* y *U.S. Preventive Services Task Force*. Finalmente, se incluyeron 13 artículos y se reclutó a 97 participantes. Se obtuvieron mejoras significativas en medidas de resultado que evalúan el control postural y el equilibrio, la funcionalidad del miembro superior, el control selectivo articular y la marcha.

Conclusiones: La guía posee algunas limitaciones: número de pacientes reclutados, diversidad clínica y rango de edad; así como la calidad metodológica de los ensayos existentes. La realidad virtual es una prometedora herramienta en el tratamiento de niños con parálisis cerebral. Existe evidencia científica con fuerza de recomendación aceptable para el empleo de sistemas de realidad virtual en el tratamiento de la parálisis cerebral.

© 2011 Sociedad Española de Neurología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: francisco.molina@urjc.es (F. Molina Rueda).

KEYWORDS

Balance;
Cerebral palsy;
Motor learning;
Postural control;
Somatosensory
Development;
Virtual reality

Use of virtual reality systems as proprioception method in cerebral palsy: clinical practice guideline

Abstract

Introduction: The limitations in performing functional activities in children and adolescents with cerebral palsy are important. The use of virtual reality systems is a new treatment approach that reinforces task-oriented motor learning. The purpose of this guide is to study the impact of the use of virtual reality systems in the improvement and acquisition of functional skills, and to evaluate the scientific evidence to determine the strength of recommendation of such interventions.

Development: All available full-text articles, regardless of their methodology, were included. The following data bases were consulted: PubMed (Medline), PEDro, EMBASE (OVID-Elsevier), Cochrane Library, Medline (OVID), CINAHL, ISI Web Knowledge. An assessment was made of methodological quality, the level of scientific evidence, and the strength of recommendations using the tools: Critical Review Form - Quantitative Studies and the Guidelines for Critical Review Form - Quantitative Studies and U.S. Preventive Services Task Force. Finally, we included 13 articles and 97 participants were recruited. We obtained significant improvements in outcome measures that assessed postural control and balance, upper limb function, the selective joint control, and gait.

Conclusions: The guide has some limitations: the limited number of patients enrolled, clinical diversity and age range, as well as the methodological quality of existing trials. Virtual reality is a promising tool in the treatment of children with cerebral palsy. There is strong scientific evidence of an acceptable recommendation for the use of virtual reality systems in the treatment of cerebral palsy.

© 2011 Sociedad Española de Neurología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Generalidades

La parálisis cerebral (PC) se describe como una serie de trastornos del desarrollo motor y postural, que causa limitaciones funcionales atribuidas a lesiones no progresivas que ocurren en el desarrollo del sistema nervioso central del feto o del niño^{1,2}. Tradicionalmente se ha descrito en función del tipo de daño (espasticidad, hipotonía, discinesia y ataxia) y su topografía (hemiparesia, diparesia y tetraparesia), ya que hasta hace poco no existían métodos estandarizados para clasificar la parálisis cerebral en relación a los subtipos y la gravedad de las dificultades motoras. El Gross Motor Function Classification System (GMFCS) fue desarrollado para clasificar a los niños con diagnóstico de parálisis cerebral en los niveles de movilidad funcional y consta de 5 niveles que van desde I, que incluye a los niños con mínima o ninguna disfunción en relación a la movilidad en la comunidad, hasta V, que incluye a los niños que son totalmente dependientes y necesitan ayuda para desplazarse¹. La PC representa la causa más común de discapacidad física en la infancia pero no se conoce con exactitud su incidencia y prevalencia a nivel mundial². Gracias a los registros de base poblacional, se estima que la prevalencia de la PC en países desarrollados es de 2-2,5 casos por cada 1.000 recién nacidos vivos. Actualmente, la probabilidad de supervivencia incluso en las formas más graves de PC es alta, lo que implica una inversión económica creciente. En EE. UU. se estimó que los costes directos (revisiones médicas, ingresos hospitalarios, servicios de asistencia y adaptación de la vivienda) e indirectos (repercusión en la productividad laboral) derivados

de la PC durante el año 2003, ascendían a 11.500 millones de dólares³.

Parálisis cerebral y funcionamiento

El desarrollo de habilidades en niños con PC está restringido por múltiples factores para la realización de actividades voluntarias tanto manipulativas como de movilidad, que van acompañadas por restricciones en la función postural⁴.

El control postural normal requiere de la organización de la información sensorial procedente de los sistemas visual, propioceptivo y vestibular, que proporcionan información acerca de la posición y el movimiento del cuerpo en el entorno, así como la coordinación de esta información con las acciones motrices. El sistema propioceptivo, llamado «sexto sentido», proporciona la base para saber dónde está nuestro cuerpo en el espacio, y comprende componentes estáticos (posición) y dinámicos (movimiento). En la producción del movimiento coordinado, el *feedback* propioceptivo es crítico para el correcto control muscular, el control de los segmentos durante un movimiento multiarticular, la trayectoria del movimiento y nos aporta modelos internos de representación corporal que nos sirven para la adquisición y adaptación de habilidades motrices⁵.

El control postural en las personas con PC está condicionado por los sistemas neuromuscular y musculoesquelético. Su sistema neuromuscular tiene una capacidad precaria para coordinar múltiples músculos en las sinergias posturales, lo que deriva en problemas de: secuenciación, tiempo de activación de respuestas posturales y problemas de adaptación postural según las demandas del entorno. El principal problema a nivel musculoesquelético en estos pacientes es la alineación corporal. La falta

de una correcta relación entre los segmentos corporales repercute en un cambio en la posición del cuerpo con referencia del centro de gravedad y la base de sustentación, impidiéndoles crear estrategias de movimiento adecuadas^{6,7}.

La introducción de sistemas de realidad virtual (RV) en la rehabilitación de los niños y adolescentes con PC es una nueva herramienta de tratamiento con múltiples objetivos funcionales.

Realidad virtual

Entendemos por RV aquella tecnología computarizada que proporciona *feedback* sensorial artificial, en un formato en que el usuario obtiene experiencias similares a actividades y eventos que acontecen en la vida real^{8,9}. Proporciona un aprendizaje motor en las tres dimensiones del espacio, correspondiente al movimiento que se realiza en el mundo real⁸.

Las características que definen a los sistemas de RV son la interacción y la inmersión. La interacción con el sistema se consigue a través de diversos canales multisensoriales (vista, oído, tacto e incluso olfato) y la inmersión se considera el grado en que la persona se siente envuelto en el entorno virtual^{10,11}. Ambas características definen el «grado de presencia» que es la sensación de «estar allí». Se necesita un elevado grado de presencia para conseguir manipular los procesos cognitivos que intervienen en el control motor^{10,12}, por tanto, se obtendrá mayor compromiso del usuario con el sistema cuanto más inmersivo sea el mismo.

La RV posee tres elementos claves que intervienen en el aprendizaje motor:

- Repetición. La plasticidad es dependiente de la práctica. La repetición mejora el aprendizaje de habilidades motoras y funcionales¹³.
- *Feedback* sensorial. Es sabida la importancia de la estimulación multisensorial en la rehabilitación de los niños con PC ya que se trata de una afectación global. Con el trabajo a través de diferentes canales, se obtiene un máximo desarrollo de la red neuronal¹⁴. Los entornos virtuales proporcionan una masiva e intensiva estimulación sensoriomotriz, necesaria para inducir una reorganización cerebral¹³.
- Motivación del sujeto. Se consigue al enfocar las diferentes actividades que conforman la terapia del sujeto de una manera amena y atractiva¹⁵.

En neurorrehabilitación pediátrica es esencial proponer programas de intervención flexibles e individualizados. La RV puede alcanzar esta individualización y flexibilidad ya que nos permite integrar en el programa de intervención las propias preferencias del niño, mejorar su atención y motivación por la tarea, y aumentar el *feedback* sensorial. Estas técnicas aumentan el compromiso con la terapia, lo que supone un mayor éxito en los aprendizajes¹¹. Además, proporcionan estrategias de intervención estructuradas y sistemáticas, y el terapeuta tiene total control sobre el sistema para realizar las modificaciones necesarias y para reproducir sesiones exactas. Permite desarrollar plataformas de

telerrehabilitación, donde los terapeutas pueden seguir la evolución del paciente¹⁶.

Uno de los principales problemas en neurorrehabilitación es la generalización de los aprendizajes para transferirlos a nuevos entornos de la vida real. Este es uno de los objetivos más difíciles de las intervenciones, por lo que introducir estrategias para maximizar la generalización es parte del plan de tratamiento. La RV está diseñada para simular situaciones reales, tiene un alto grado de «validez ecológica» (grado en que un experimento se asemeja a la vida real), incrementando la probabilidad de que las habilidades aprendidas sean transferidas a la vida real. Ofrece seguridad en entornos realistas que en la vida real pueden ser peligrosos para los niños con PC y desarrolla la confianza y la autoeficacia en un ambiente seguro, preparando al niño para abordar la tarea en el mundo real¹⁰.

Sistemas de realidad virtual empleados en neurorrehabilitación

Existen tres grandes grupos de sistemas de realidad RV en función del tipo de interacción que ofrecen entre la persona y el sistema: basados en gestos, basados en el *feedback* y basados en el contacto (sensaciones hápticas)¹⁰. Han sido empleados en neurorrehabilitación:

- IREX® (*Interactive rehabilitation and exercise Systems*, Gesture Tek). Sistema inmersivo de RV que integra la imagen del paciente en una escena virtual, el cual puede verse a sí mismo moviéndose e interactuando con objetos virtuales a tiempo real. Permite diseñar programas de ejercicios interactivos para articulaciones individuales, movimientos combinados o funcionales de todo el cuerpo. No requiere el uso de otros dispositivos, por lo que permite total libertad de movimiento^{17,18}.
- Mandala Gesture Xtreme® (Vivid Group). Sistema inmersivo de RV basado en el movimiento del usuario, al que traslada dentro de experiencias virtuales. Permite el movimiento activo libre del usuario sin necesidad de otros dispositivos. El grupo de Vivid ha creado diferentes *software* para ejecutar en su sistema Mandala GX: 5 de entretenimiento, 7 títulos educativos, 9 de deportes y 6 de «teatro virtual». Permite la opción multijugador¹⁹⁻²¹.
- CAVE® (Fakespace). Habitación con un suelo y tres paredes (una frontal y dos laterales) sobre cuyas superficies se proyectan imágenes en 3D a alta resolución, creando la ilusión de estar dentro del entorno virtual. Sistema inmersivo, equipado con un dispositivo capaz de medir el control postural reactivo, registrando el movimiento del cuerpo. Permite varios usuarios^{12,22}.
- BNAVE® (*Balance Near Automatic Virtual Environment*). Es un sistema inmersivo con imágenes estereoscópicas, en el que se proyecta el entorno virtual sobre todo el campo de visión del paciente, quien se encuentra colocado sobre una plataforma de fuerzas en el centro de la habitación virtual. Los datos registrados por el BNAVE son el movimiento de la cabeza, el centro de presión del pie y señales electromiográficas¹⁵.
- HEAD MOUNTED DISPLAYS® (HMD). Es la prueba de oro de los sistemas inmersivos, ya que proporciona imágenes a la más elevada resolución, así como por su proximidad a

- los ojos. Consiste en un dispositivo monocular o binocular, y gracias a que se encuentra sujeto a la cabeza del usuario; este puede seguir sus movimientos, consiguiendo así que se sienta integrado en los ambientes creados por ordenador²³. Posee numerosas críticas en cuanto a que: restringe el movimiento, es pesado, causa mareo, proporciona un limitado campo visual y es incómodo¹⁹⁻²¹.
- Sistemas hápticos. Son aquellos que utilizan robots para generar interacción entre el usuario y la realidad virtual. NJIT-RAVR[®], GENTLE-S[®], MIT-Manus[®], PneuWREX[®], RTGERS MASTER II-ND[®] y DATA GLOVES[®], proporcionan efectos hápticos durante las actividades de miembro superior en entornos virtuales. LOKOMAT[®] (Hocoma) y CAREN System[®] (Motek) son sistemas diseñados para facilitar el entrenamiento de la marcha, y ambos pueden ser integrados con RV presentando escenarios virtuales de marcha en una pantalla frente al sujeto^{13,24-26}.
 - Sistemas de bajo coste. Se han utilizado en neurorehabilitación:
 1. Wii[®] (NINTENDO). La consola Wii de Nintendo es un videojuego interactivo y basado en el movimiento. El jugador es representado por un avatar dentro del entorno virtual. Un control remoto que se sostiene en la mano mide los movimientos del jugador y estos son trasladados a la pantalla; este control remoto detecta cambios en la aceleración y la orientación, y el sistema ajusta el *feedback* de acuerdo con ello. El control remoto de Wii proporciona *feedback* háptico y los juegos abundante *feedback* visual y auditivo, la oportunidad de participar varios jugadores y diferentes niveles de dificultad. Posee diferentes aplicaciones: Wii Sports[®], Wii Fit[®] (Balance Board)^{27,28}.
 2. PlayStation[®] (SONY). La aplicación EyeToy[®] y el mando Move[®] permiten al usuario entrar en contacto con infinidad de experiencias virtuales²⁹⁻³¹.
 3. Xbox[®] (MICROSOFT). Su sistema Kinect[®] permite al usuario jugar sin mando y, por tanto, mover libremente el cuerpo. Utiliza un sensor de movimiento que controla todo el cuerpo³².

Objetivo

El objetivo de realizar esta guía de práctica clínica es analizar qué repercusión tiene el empleo de diferentes sistemas de RV en la mejora y adquisición de habilidades funcionales en niños y adolescentes con PC, y evaluar la evidencia científica existente para determinar qué fuerza de recomendación tienen dichas intervenciones.

Material y métodos

Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda bibliográfica hasta marzo de 2011, sin restricción de idiomas y con límite de antigüedad de los ensayos en el año 2000.

Las fuentes de información y palabras clave empleadas fueron las siguientes:

- Bases de datos: Pubmed (Medline), PEDro, Embase (OVID-Elsevier), Biblioteca Cochrane Plus, Medline (OVID), CINHALL, ISI web Knowledge.
- Estrategia de búsqueda: 1) *cerebral palsy*, 2) *virtual reality*, 3) *1 and 2*, 4) *Balance*, 5) *1 and 4*, 6) *postural control*, 7) *1 and 6*, 8) *2 and 4*, 9) *2 and 6*, 10) *somatosensory development*, 11) *1 and 10*, y 12) *motor learning*.

La búsqueda se complementó con el rastreo de aquellas citas de los ensayos y revisiones encontrados^{9-11,16,33,34}, que eran de interés para el objetivo de esta guía.

Se escribió a dos autores para conseguir dos ensayos^{19,35} que no se encontraban a texto completo en las bases de datos a las que se tuvo acceso.

Criterios de inclusión de estudios a la guía

Tipo de estudios

La misión de esta guía de práctica clínica consiste en recopilar estudios con el mayor nivel de evidencia; sin embargo, la novedad de la intervención en niños con PC y el escaso número de artículos en la literatura, obliga a recopilar todos los artículos disponibles aunque tengan niveles de evidencia más bajos. A pesar de ello, todos los artículos fueron revisados y evaluados de forma crítica por medio de los instrumentos oportunos.

Tipo de participantes

Se incluyeron aquellos ensayos cuyos participantes fuesen exclusivamente niños y/o adolescentes de 4 a 18 años, afectados de parálisis cerebral sin importar el diagnóstico motor y el nivel de afectación.

Tipo de intervención

Se incluyeron las intervenciones realizadas con la población diana, que consistiesen en el empleo aislado de sistemas de realidad virtual para el entrenamiento de habilidades funcionales, o incluyesen un sistema de realidad virtual como complemento a otra intervención o sistema, evaluando la mejora de los resultados mediante la aplicación combinada.

Tipo de medidas de resultado

Las medidas de valoración de los participantes debían pertenecer a alguno de los siguientes grupos:

- Herramientas estandarizadas y validadas de funcionalidad motriz: Gross Motor Function Classification System (GMFCS)³⁶, Canadian Occupational Performance Measure (COPM)³⁷, Sitting Assessment for children with Neuro-motor Dysfunction (SACND)³⁸, Bruininks-Oseretsky Test of motor Proficiency (BOTMP)³⁹, Pediatric Motor Activity Log questionnaire (PMAL)⁴⁰, Fugl-Meyer assessment (FMA)⁴¹, Test de Jebsen⁴², Peabody Developmental Motor Scales (PDMS-2)⁴³, Quality of Upper Extremity Skills Test (QUEST)⁴⁴, Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function Test (MAUULF)⁴⁵, Movement Assessment Battery for Children (mABC-2)⁴⁶ y Standardized Walking Obstacle Course (SWOC)⁴⁷.
- Características de la marcha: variables espaciotemporales (velocidad, longitud del paso, simetría), test de la marcha de 1 minuto⁴⁸ y test de la marcha de 6 minutos.

- Características de la posición estática (distribución de pesos, alineación articular, simetría)^{27,49}.
- Rango de movilidad articular: goniometría¹⁸.
- Participación activa/fuerza muscular: biofeedback, electromiografía (EMG) de superficie⁵⁰.
- Técnicas de diagnóstico por imagen: resonancia magnética funcional (RMf)^{17,29}.

Métodos de la revisión

Dos autores (fisioterapeutas con antecedentes en el tratamiento de niños con PC) (EM, FM) realizaron el cribado (*screening*) de forma independiente de los títulos y los resúmenes de las búsquedas electrónicas y de las actas de congresos más correspondencia acerca de los ensayos no publicados. Se compararon los ensayos seleccionados por cada autor. Los autores discutieron los ensayos en los casos en que hubo desacuerdo. Para los ensayos que potencialmente cumplían con los criterios de inclusión, se obtuvieron los trabajos completos. Se evaluó la calidad metodológica de los mismos mediante la herramienta *Critical Review Form-Quantitative Studies and the Guidelines for Critical Review Form-Quantitative Studies*⁵¹. Para examinar el nivel de evidencia y la fuerza de las recomendaciones de estos estudios, y así ayudar en la selección de la mejor evidencia para tomar decisiones en la práctica clínica, se empleó el *U.S. Preventive Services Task Force* (USPSTF)⁵².

Se extrajeron de forma estandarizada los siguientes datos de cada ensayo: tamaño muestral, edad, sexo; diagnóstico motor de los participantes y nivel de afectación (GMFCS); intensidad de la intervención y cointervenciones; sistema de realidad virtual empleado; medidas de valoración empleadas; principales resultados obtenidos.

Resultados

Descripción de los estudios

Se identificaron 34 ensayos a través de las búsquedas en las bases de datos, de los cuales se excluyeron 21^{17,19,23,25-27,49,53-66} por no cumplir los criterios de inclusión de estudios en este trabajo (tabla 1). Finalmente, se incluyeron 13 estudios^{18,20,21,29-31,35,50,67-71}, de los que se extrajeron los datos, incluyéndose de este modo 97 participantes.

Los participantes incluían cualquier afectación a nivel topográfico. La calidad del tono en 67 de ellos era espástica^{20,21,29-31,50,67,68,70,71}, 1 participante era discinético, 1 era atáxico⁶⁸, 10 hipotónicos²⁹, en 12 participantes no aparecen datos a cerca de la calidad del tono^{18,35,69}, y los 6 restantes eran controles sanos³⁰. 7 de los estudios evalúan el nivel de afectación de los participantes con el *Gross Motor Function Classification System* (GMFCS) en niveles entre I y V^{20,21,29,30,50,68,70,71}.

La edad de los pacientes oscilaba entre los 4 y los 17 años. El sexo de los participantes se repartió en 53 hombres y 34 mujeres, y de los 10 participantes que restan no existen datos acerca del sexo^{20,21}. Se estudiaron las siguientes cuestiones.

En tres estudios^{18,20,70}, las variaciones en el control postural y el equilibrio tras el empleo de sistemas de RV en un total de 10 participantes. Seis trabajos^{30,35,50,67,68,70} midieron en 52 participantes la mejora de la funcionalidad de los miembros superiores tras el entrenamiento con RV. Dos ensayos^{30,71} evaluaron en 17 participantes el incremento del control selectivo y del rango articulares. Otros dos estudios^{50,68} valoraron los cambios en diferentes variables o aspectos de la marcha en un total de 29 participantes. En 2 ensayos^{31,69} se empleó como medida de valoración de resultados la RMf, para medir los cambios que acontecían en la corteza motora de 4 participantes al entrenar habilidades funcionales del miembro superior mediante el empleo de sistemas de RV. Un estudio³⁰ comparó ejercicios convencionales de movilidad articular selectiva, con los mismos ejercicios realizados bajo una condición de RV en 16 participantes.

Respecto de las cointervenciones, 3 estudios emplean otros medios como cointervención con sistemas sencillos de RV. Kott et al.⁵⁰ emplean una pasarela rodante para el entrenamiento de la marcha en un entorno virtual; Cikajlo et al.⁷¹ emplean un sistema de dinamometría isocinética; y Fluet et al.³⁵ utilizan un dispositivo robótico háptico (NJIT-RAVR®) para el entrenamiento de habilidades funcionales del miembro superior hemiparético. En 2 estudios^{31,68} realizaron intervenciones de telerehabilitación. Por último, en 5 estudios^{18,20,35,67,70} la RV se combinó con otros tratamientos; 8 participantes^{20,67,70} mantuvieron sus tratamientos de fisioterapia y terapia ocupacional durante el periodo del estudio, 2 sólo recibieron fisioterapia¹⁸ y 3 recibieron una terapia específica de restricción del movimiento del miembro superior sano³⁵.

Calidad metodológica

La calidad metodológica de los estudios para la herramienta *Critical Review Form-Quantitative Studies and the Guidelines for Critical Review Form - Quantitative Studies*, de una puntuación máxima de 15, oscila entre 10-15 puntos. Dos de los estudios son ensayos clínicos aleatorios^{20,29}, un estudio es un ensayo controlado no aleatorizado³⁰; 7 son estudios de análisis pre-post^{18,21,31,35,50,67,68} y 3 son presentaciones de un caso⁶⁹⁻⁷¹.

El nivel de evidencia para el USPSTF de los ensayos incluidos varía de I-III y la fuerza de recomendación está repartida entre A, B y C (tabla 2).

Resultados principales

Nivel de evidencia I. Fuerza de recomendación A

Dos estudios son ECA^{20,29}. Reid²⁰ en 2002 evaluó el control postural en sedestación en 6 participantes, obteniendo mejoras importantes a nivel del tono postural, alineación postural, estabilidad proximal y equilibrio, mediante la herramienta SACND, pero no proporciona datos del análisis estadístico de los resultados, por lo que es necesario ser cautelosos en la lectura de los mismos. Sin embargo, en su siguiente estudio controlado y aleatorizado²⁹, Reid realizó un correcto análisis estadístico en 31 pacientes sometidos a una intervención con el mismo sistema de RV, pero esta vez evaluó la funcionalidad del miembro superior mediante

Tabla 1 Tabla de estudios excluidos

Referencia	Motivo de exclusión
Brütsch et al. ¹⁷	Diagnóstico de sujetos de estudio no es exclusivamente PC
Weiss et al. ¹⁹	Los participantes son adultos
Steele et al. ²³	Evalúa la modulación del dolor. No emplea ninguna escala de valoración de la funcionalidad motriz
Koenig et al. ²⁵	Evalúa sujetos sanos
Baram et al. ²⁶	Los participantes sobrepasan el rango de edad para los criterios de inclusión
Huber et al. ²⁷	Actualización de un artículo ya incluido ³¹
Akhutina et al. ⁴⁹	No emplea medidas de valoración estandarizadas
Qiu et al. ⁵³	Medida de resultado creada por autores
Harris et al. ⁵⁴	Evalúa la motivación. No emplea ninguna escala de valoración de la funcionalidad motriz
Reid et al. ⁵⁵	Evalúa la alegría. No emplea ninguna escala de valoración de la funcionalidad motriz
Miler et al. ⁵⁶	No emplea ninguna escala de valoración de la funcionalidad motriz
Reid et al. ⁵⁷	Evalúa autoeficacia. No emplea ninguna escala de valoración de la funcionalidad motriz
Reid et al. ⁵⁸	Evalúa experiencia persona-ambiente. No emplea ninguna escala de valoración de la funcionalidad motriz
Golomb et al. ⁵⁹	Actualización de un artículo incluido ³¹
Brütsch et al. ⁶⁰	El diagnóstico de los sujetos del estudio comprende diferentes desórdenes de la marcha, no exclusivamente PC
Montesano et al. ⁶¹	No emplea medidas de valoración de funcionalidad motriz estandarizadas
Golomb et al. ⁶²	Actualización de un artículo incluido ³¹
Kirshner et al. ⁶³	No emplea medidas de valoración de la funcionalidad motriz
Guberek et al. ⁶⁴	Evalúa el nivel de cooperación y la satisfacción, no medidas de valoración de la funcionalidad motriz
Odle et al. ⁶⁵	Evalúa mediante cuestionarios a los terapeutas y evalúa tareas funcionales pero sin tomar como medidas de valoración test o baterías estandarizadas
Brien et al. ⁶⁶	Actualización de un artículo incluido ³⁰

herramientas estandarizadas. Concluyó que no hubo resultados estadísticamente significativos para recomendar dicha intervención, encontrando únicamente diferencias significativas entre grupos para la subescala de aceptación social del SPPC, $p=0.02$ (QUEST $p=0,43$; COPM $p=0,12$, $p=0,41$).

Nivel de evidencia II-1. Fuerza de recomendación A
 Bryanton et al.³⁰ realizaron un ensayo controlado no aleatorizado en el que sometieron a 16 participantes, 10 afectados de PC y 6 controles sanos, a una intervención para comparar la RV frente a los ejercicios convencionales en el trabajo

Tabla 2 Puntuaciones para la calidad metodológica, el nivel de evidencia y la fuerza de recomendación

	Tipo de estudio	Nivel de evidencia y fuerza de recomendación	Critical Review Form-Quantitative Studies															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total
Reid ²⁰	ECA	I/A	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	10
Reid ²⁹	ECA	I/A	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	12
Bryanton ³⁰	EC no aleatorizado	II-1/A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	14
Reid ²¹	Estudio pre-post	II-3/B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	12
Chen ⁶⁷	Estudio pre-post	II-3/B	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	10
Kott ⁵⁰	Estudio pre-post	II-3/B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	13
Shih ¹⁸	Estudio pre-post	II-3/B	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	10
Golomb ³¹	Estudio pre-post	II-3/B	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
Fluet ³⁵	Estudio pre-post	II-3/B	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	11
Sandlund ⁶⁸	Estudio pre-post	II-3/B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
You ⁶⁹	Presentación de un caso	III/C	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13
Deutsch ⁷⁰	Presentación de un caso	III/C	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	10
Cikajlo ⁷¹	Presentación de un caso	III/C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	13

ECA: ensayo controlado aleatorizado.

analítico de tobillo. Los principales resultados revelaron que: obtuvieron más repeticiones mediante los ejercicios convencionales para ambos grupos ($p < 0,04$), emplearon un mayor tiempo promedio para realizar una repetición en el escenario de RV que en los ejercicios convencionales en ambos grupos ($p < 0,01$), consiguieron un mayor rango de movimiento activo bajo la condición de RV (controles sanos $p < 0,03$, PC $p = 0,09$), y se consiguió un mayor tiempo de mantenimiento de la postura para la RV por tratarse de una intervención orientada a una tarea.

Nivel de evidencia II-3. Fuerza de recomendación B

Siete ensayos son estudios pre-post^{18,21,31,35,50,67,68}. Cuatro de ellos realizaron intervenciones para evaluar la funcionalidad del miembro superior^{21,31,35,67}. Todos estos trabajos obtuvieron un aumento de la participación activa de los miembros superiores afectados en actividades funcionales, en la coordinación y en la calidad del movimiento, aunque no se obtuvieron cambios estadísticamente significativos. Solo en un ensayo³⁵, el tiempo empleado para los movimientos descendió un 26% ($p = 0,028$) y aumentó la longitud de la trayectoria ($p = 0,003$), pero no hubo diferencias significativas estadísticamente en cuanto a la suavidad de la trayectoria de movimiento de la mano ($p = 0,067$). Golomb et al.³¹ confirman una mejora del estado óseo del antebrazo tras su intervención y emplean como medida de valoración la RMf, obteniendo resultados estadísticamente significativos para la activación de la corteza motriz tras la intervención ($p < 0,001$). Shih et al.¹⁸ realizaron un estudio pre-post con dos participantes en el que evaluaron el control postural y el equilibrio mediante un sistema de bajo coste de RV. Obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) en ambos participantes entre las fases de intervención y no intervención para el mantenimiento de la postura simétrica predeterminada. Los otros dos estudios pre-post^{50,68} valoraron aspectos de la marcha. Obtuvieron mejoras significativas en cuanto al aumento de la velocidad de la marcha y la longitud del paso ($p = 0,02$), mejora del desarrollo de habilidades para el GMFCS en su dimensión E ($p = 0,05$)⁵⁰ y aumento del rendimiento motor (mABC $p = 0,039$). No se obtuvieron cambios significativos para el test de marcha de 1 minuto ($p = 0,078$) ni para el BOTMP ($p = 0,072$)⁶⁸.

Nivel de evidencia III. Fuerza de recomendación C

Los 3 ensayos restantes⁶⁹⁻⁷¹ son presentaciones de un caso. You et al.⁶⁹ obtuvieron un incremento del uso y la calidad del movimiento del miembro superior afecto durante actividades funcionales y evaluaron la activación de la corteza sensoriomotriz en un niño con hemiparesia ($p < 0,001$). Deutsch et al.⁷⁰ valoraron el control postural y la movilidad funcional en la marcha medida en pasos/metros recorridos en un adolescente con diparesia espástica. Tras la intervención hubo una disminución del balanceo de un 60% y un incremento en la funcionalidad de la marcha (15 p/4 m preintervención, durante el tiempo de una sesión a 250 p/76,2 m, 12 semanas postintervención). Cikajlo et al.⁷¹ evaluaron el torque de rodilla mediante dinamometría isocinética bajo una condición de RV y obtuvieron resultados estadísticamente significativos para la velocidad del movimiento selectivo ($p < 0,05$) y una respuesta muscular más coordinada y potente medida con EMG de superficie.

Discusión

El objetivo de esta guía consiste en evaluar qué repercusión tiene el empleo de diferentes sistemas de RV en la mejora y la adquisición de habilidades funcionales en niños y adolescentes con PC, y evaluar la evidencia científica existente para determinar qué fuerza de recomendación tienen dichas intervenciones.

Se trató de recopilar los estudios de mayor evidencia, pero dada la novedad de las intervenciones con RV en pacientes con PC, hubo que incluir los mejores artículos encontrados en la literatura, a pesar de poseer un nivel de evidencia bajo, por lo que es necesario hacer una lectura precavida de los resultados. Se cree que se identificaron todos los estudios relevantes con la estrategia de búsqueda y con el rastreo de referencias de los artículos y revisiones encontradas.

Inicialmente se trató de realizar una revisión sistemática, pero la escasez de ECA no justificaba la realización de la misma, por lo que se empleó la herramienta USPSTF para determinar la evidencia científica y la fuerza de recomendación de las intervenciones con RV de la bibliografía encontrada, y así realizar una revisión basada en la evidencia o guía de práctica clínica.

Los artículos incluyen una gran variabilidad de pacientes en cuanto a edad (4-17 años), nivel de afectación (GMFCS I-V), topografía (hemiparesia, diparesia, tetraparesia) y calidad del tono (espasticidad, discinesia, ataxia, hipotonía).

Los 13 estudios incluidos en esta guía muestran que el entrenamiento con RV produce mejoras en actividades funcionales tales como el mantenimiento del equilibrio y el control postural, la calidad del movimiento de los miembros superiores, el control selectivo articular, y el patrón de marcha. Existe un máximo nivel de evidencia para recomendar RV en el entrenamiento del equilibrio y la funcionalidad del miembro superior.

En todos los ensayos los participantes son los mismos desde el inicio hasta el final, por lo que se puede decir que todos cumplen con el análisis por intención de tratar. En la mayoría de los casos, son estudios pilotos y estudios de prueba de concepto, cuya misión posterior es ampliar su muestra y convertirse en estudios con diseños metodológicos más complejos.

Los ensayos incluidos emplean sistemas inmersivos y hápticos de RV, por lo que todos proporcionan una gran cantidad de *feedback* sensorial. Aunque la literatura revela que a mayor inmersión, mayor realismo de las experiencias y, por tanto, mayor compromiso del paciente con la terapia, no se puede establecer una relación directa en los resultados obtenidos. No obstante, los sistemas para los que existe la máxima fuerza de recomendación son altamente inmersivos (IREX®, Mandala® GX).

En líneas generales, los estudios revelan un fuerte compromiso de los participantes con la intervención, ya que a penas existen informes de deserción. Únicamente revelan deserción los 2 ensayos que consisten en intervenciones de telerrehabilitación^{31,68}, de lo que se deduce que aunque la telerrehabilitación es una prometedora herramienta para que todos los pacientes tengan acceso a programas de rehabilitación, esta debe ir acompañada de una supervisión constante y una modificación frecuente de la intervención,

evitando así que los pacientes caigan en la desmotivación por las tareas, especialmente si se trata de niños y adolescentes.

Numerosos trabajos de Denise Reid⁵⁴⁻⁵⁸ que emplean sistemas de RV en intervenciones con pacientes afectados de PC, se apoyan en las teorías de autoeficacia y aprendizaje motor para justificar su aplicación, y obtienen importantes resultados en cuanto a la motivación, autocontrol, placer y socialización de sus participantes, al permitirles el acceso a experiencias que de otro modo estarían restringidas para ellos por su accesibilidad o peligrosidad.

En cuanto a la generalización de aprendizajes, la mayoría de los ensayos realizan un análisis pre-postintervención, siendo la valoración postintervención prácticamente inmediata a la intervención. Solo un artículo⁶⁷ realiza seguimiento, pues se evalúa a los participantes cuatro semanas después de la intervención, obteniéndose un mantenimiento parcial de los efectos de la misma, por lo que no se puede hablar de un mantenimiento en el tiempo de los aprendizajes con los datos extraídos de los estudios.

No existen datos concluyentes en la literatura sobre la superioridad de las intervenciones con RV en niños y adolescentes con PC con respecto a otros métodos o conceptos de rehabilitación. Sólo uno de los estudios incluidos compara ejercicios convencionales con los mismos bajo una condición de RV. Según este estudio, el único aspecto en el que la RV es superior a la terapia convencional, es en que la RV está orientada a una tarea y, por tanto, los participantes persisten en la misma hasta concluirarla.

Esta guía de práctica clínica presenta algunas limitaciones que deben indicarse. Incluye artículos con una metodología cuestionable y niveles de recomendación bajos, además la muestra de participantes es pequeña, de una gran diversidad clínica, y con un amplio rango de edad, lo que condiciona la experiencia de movimiento y por tanto, las habilidades adquiridas en muchos de los participantes. En definitiva, se debe realizar una lectura cuidadosa y crítica de los resultados.

Conclusiones

Esta guía clínica incluye artículos con niveles aceptables de recomendación de las distintas intervenciones con RV; sin embargo, se considera fundamental abrir nuevas líneas de investigación que comparen el empleo de sistemas de RV con otros procedimientos terapéuticos con objeto de justificar los costes de los sistemas. Estas líneas de investigación deben fundamentarse en estudios bien diseñados de rigurosa calidad metodológica. Con respecto a los diferentes equipos de RV, se recomienda realizar estudios que evalúen el empleo de dispositivos de bajo coste, ya que son productos comerciales con grandes ventajas con respecto a otros diseñados con objetivos específicamente terapéuticos (precio económico, accesibilidad, buen servicio técnico, fácilmente actualizables con nuevas tecnologías y no necesitan modificaciones adicionales). En línea con la calidad metodológica de los próximos estudios, estos han de establecer unos criterios de selección de participantes bien definidos y asegurarse de que los grupos sean homogéneos y similares en cuanto a edad, clasificación del grado de funcionalidad, topografía y calidad del tono. Además, deberían

incluir medidas de resultado funcionales para evaluar las actividades de la vida diaria, además de medidas de resultado sobre la calidad de vida de los pacientes y la adherencia al tratamiento. Todo ello, con el fin de conocer la transferencia del aprendizaje, las repercusiones participativo-sociales de la intervención, y la satisfacción y motivación de los participantes.

Conflicto de intereses

El presente trabajo está realizado dentro del proyecto de investigación *Hybrid NeuroProsthetic and NeuroRobotic Devices for Functional Compensation and Rehabilitation of Motor Disorders* (HYPER) del programa CONSOLIDER-Ingenio 2010 y del VI Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011.

Bibliografía

1. Pfeifer LI, Silva DB, Funayama CA, Santos JL. Classification of Cerebral Palsy Association between gender, age, motor type, topography and Gross Motor Function. *Arq Neuropsiquiatr*. 2009;67:1057–61.
2. Molina-Rueda F, Águila-Maturana AM, Molina-Rueda MI, Miangolarra-Page JC. Pasarela rodante con o sin sistema de suspensión del peso corporal en niños con parálisis cerebral infantil: revisión sistemática y metaanálisis. *Rev Neurol*. 2010;51:135–45.
3. Camacho-Salas A. Parálisis cerebral infantil: importancia de los registros poblacionales. *Rev Neurol*. 2008;47:515–20.
4. Woollacott M, Shumway-Cook A, Hutchinson S, Ciol M, Price R, Kartin D. Effect of balance training on muscle activity used in recovery of stability in children with cerebral palsy: a pilot study. *Develop Med Child Neurol*. 2005;47:455–61.
5. Goble DJ, Lewis CA, Hurvitz EA, Brown SH. Development of upper limb proprioceptive accuracy in children and adolescents. *Hum Mov Sci*. 2005;24:155–70.
6. Woollacott M, Shumway-Cook A. Postural dysfunction during standing and walking in children with cerebral palsy: what are the underlying problems and what new therapies might improve balance? *Neural Plast*. 2005;12:211–9.
7. Shumway-Cook A, Woollacott M. *Motor Control: translating research into clinical practice*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
8. Cano de la Cuerda R, Muñoz-Hellín E, Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F. Telerrehabilitación y neurología. *Rev Neurol*. 2010;51:49–56.
9. Snider L, Majnemer A, Darsaklis V. Virtual reality as a therapeutic modality for children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil*. 2010;13:120–8.
10. Wang M, Reid D. Virtual reality in pediatric neurorehabilitation: attention deficit hyperactivity disorder, autism and cerebral palsy. *Neuroepidemiology*. 2011;36:2–18.
11. Parsons TD, Rizzo AA, Rogers S, York P. Virtual reality in paediatric rehabilitation: A review. *Dev Neurorehabil*. 2009;12:224–38.
12. Keshner EA, Kenyon RV. Postural and spatial orientation driven by virtual reality. *Stud Health Technol Inform*. 2009;145:209–28.
13. Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, Merians AS. Sensorimotor training in virtual reality: a review. *Neuro Rehabil*. 2009;25:29.

14. Yagüe Sebastián MP, Yagüe Sebastián MM. Estimulación multisensorial en el trabajo del fisioterapeuta pediátrico. *Fisioterapia*. 2005;27:228–38.
15. 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.
16. Sveistrup H. Motor rehabilitation using virtual reality. *J Neuro-Eng Rehab*. 2004;1:10.
17. Brutsch K, Koenig A, Zimmerli L, Mérillat-Koeneke S, Riener R, Jäncke L, et al. Virtual reality for enhancement of robot-assisted gait training in children with neurological gait disorders. *J Rehabil Med*. 2011;43:493–9.
18. Shih CH, Shih CT, Chu CL. Assisting people with multiple disabilities actively correct abnormal standing posture with a Nintendo Wii Balance Board through controlling environmental stimulation. *Res Dev Disabil*. 2010;31:936–42.
19. Weiss PL, Bialik P, Kizony R. Virtual reality provides leisure time opportunities for young adults with physical and intellectual disabilities. *Cyberpsychol Behav*. 2003;6:335–42.
20. Reid D. Changes in seated postural control in children with cerebral palsy following a virtual play environment intervention: a pilot study. *The Israel Journal of Occupational Therapy*. 2002;7:5–95.
21. Reid D. The use of virtual reality to improve upper-extremity efficiency skills in children with cerebral palsy: A pilot study. *Tech Disabil*. 2002;14:53–61.
22. Greffou S, Bertone A, Hanssens JM, Faubert J. Development of visually driven postural reactivity: A fully immersive virtual reality study. *J Vis*. 2008;8:15, 1-10.
23. Steele E, Grimmer K, Thomas B, Mulley B, Fulton I, Hoffman H. Virtual reality as a pediatric pain modulation technique: a case study. *Cyberpsychol Behav*. 2003;6:633–8.
24. Sanchez RJ, Wolbrecht E, Smith R, Liu J, Rao S, Cramer S, et al. A Pneumatic Robot for Re-Training Arm Movement after Stroke: Rationale and Mechanical Design. En: 9th International Conference on Rehabilitation Robotics. 2005.
25. Koenig A, Wellner M, Koneke S, Meyer-Heim A, Lunenburger L, Riener R. Virtual gait training for children with cerebral palsy using the Lokomat gait orthosis. *Stud Health Technol Inform*. 2008;132:204–9.
26. Baram Y, Lenger R. Gait improvement in patients with cerebral palsy by visual and auditory feedback. En: Virtual Rehabilitation International conference. 2009. p. 146–9.
27. Huber M, Rabin B, Docan C, Burdea G, Nwosu ME, Abdelbaky M, et al. PlayStation 3 based Tele-rehabilitation for Children with Hemiplegia. *Virtual Rehabilitation*. 2008;10:5–12.
28. Levac D, Pierrynowski MR, Canestraro M, Gurr L, Leonard L, Neeley C. Exploring children's movement characteristics during virtual reality video game play. *Hum Mov Sci*. 2010;29:1023–38.
29. Reid D, Campbell K. The use of virtual reality with children with cerebral palsy: a pilot randomized trial. *Ther Recreation J*. 2006;40:255–68.
30. Bryanton C, Bossé J, Brien M, Mclean J, McCormick A, Sveistrup H. Feasibility, motivation and selective motor control: virtual reality compared to conventional home exercise in children with cerebral palsy. *Cyberpsychol Behav*. 2006;9:123–8.
31. Golomb MR, McDonald BC, Warden SJ, Yonkman J, Saykin AJ, Shirley B, et al. In-home virtual reality videogame telerehabilitation in adolescents with hemiplegic cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010;91:1–8.
32. Morrow K, Docan C, Burdea G, Merians A. Low-cost virtual rehabilitation of the hand for patients post-stroke. *Virtual rehabilitation International Workshop*. 2006:6–10.
33. Sandlund M, McDonough S, Häger-Ross C. Interactive computer play in rehabilitation of children with sensorimotor disorders: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. 2009;51:173–9.
34. York PJ, Rogers SA, Parsons TD, Rizzo AA. Efficacy of virtual reality for pediatric cerebral palsy. *Arch Clin Neuropsychol*. 2007;22:827–8.
35. Fluet GG, Qiu Q, Kelly D, Parikh HD, Ramirez D, Saleh S, et al. Interfacing a haptic robotic system with complex virtual environments to treat impaired upper extremity motor function in children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil*. 2010;13:335–45.
36. Russell DJ, Rosenbaum PL, Avery LM. Gross motor function measure (GMFM-88 & GMFM-66) user's manual. London: Cambridge University Press; 2002. p. 42–143.
37. Law M, Baptiste S, Carswell A, McColl MA, Polatajko H, Pollock N. Canadian occupational performance measure. 3rd ed Ottawa: CAOT Publications ACE; 1998.
38. Reid D. Sitting assessment for children with neuromotor dysfunction: administration manual. San Antonio: Psychological Corporation, Therapy Skill Builders; 1997.
39. Bruininks RH. Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency: Examiners manual. Circle Pines: American Guidance Service; 1978.
40. Van der Lee JH, Beckerman H, Knol DL, De Vet HC, Bouter LM. Clinimetric properties of the motor activity log for the assessment of arm use in hemiparetic patients. *Stroke*. 2004;35:1410–4.
41. Fugl-Meyer AR, Jaasko I, Leyman I, Olsson S, Steglind S. The post-stroke hemiplegic patient A method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehabil Med*. 1975;7:104–22.
42. Asher IE. Jebsen Hand Function Test. En: Occupational therapy assessment tools: an annotated index. 2nd ed Bethesda: American Occupational Therapy Association; 1996. p. 154.
43. Folio R, Fewell R. Peabody Developmental Motor Scales (II). Austin: Pro-Ed Publisher; 2000.
44. Dematteo C, Law M, Russel D, Pollock N, Rosenbaum P, Walter S. Quality of upper extremity skills test. Neurodevelopmental clinical research unit. Hamilton: Chedoke-McMaster Hospitals; 1992.
45. Randall M, Carlin JB, Chondros P, Reddihough D. Reliability of the Melbourne assessment of unilateral upper limb function. *Dev Med Child Neurol*. 2001;43:761–7.
46. Smits-Engelsman BC, Fiers MJ, Henderson SE, Henderson L. Interrater reliability of the movement Assessment Battery for Children. *Phys Ther*. 2008;88:286–94.
47. Held SL, Kott KM, Young B. Standardized Walking Obstacle Course (SWOC): reliability and validity of a functional measurement tool in children who are developing typically and atypically. *Pediatric Phys Ther*. 2006;18:23–30.
48. McDowell BC, Kerr C, Parkes J, Cosgrove A. Validity of a 1 minute walk test for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2005;47:744–8.
49. Akhutina T, Foreman N, Krichevets A, Matikka L, Narhi V, Pylaeva N, et al. Improving spatial functioning in children with cerebral palsy using computerized and traditional game tasks. *Disabil Rehabil*. 2003;25:1361–71.
50. Kott K, Leshner K, DeLeo G. Combining a virtual reality system with treadmill training for children with cerebral palsy. *J CyberTher Rehabil*. 2009;2:35–42.
51. Law M, Stewart D, Pollicj N, Letts L, Bosch J, Westmorland M. Guidelines for critical review form-quantitative studies. McMaster University; 1998.
52. Harris RP, Helfand M, Woolf SH, Lohr KN, Mulrow CD, Teutsch SM, et al., Methods Work Group, Third U.S. Preventive Services Task Force. Current methods of the U.S. Preventive Services Task Force: a review of the process. *Am J Prev Med*. 2007;115:949–52.
53. Qiu Q, Ramirez DA, Saleh S, Fluet GG, Parikh HD, Kelly D, et al. The New Jersey Institute of Technology Robot-Assisted Virtual Rehabilitation (NJIT-RAVR) system for children with cerebral palsy: a feasibility study. *J Neuroeng Rehabil*. 2009;16:40.

54. Harris K, Reid D. The influence of virtual reality play on children's motivation. *Can J Occup Ther.* 2005;72:21–9.
55. Reid D. The influence of virtual reality on playfulness in children with cerebral palsy: a pilot study. *Occup Ther Int.* 2004;11:131–44.
56. Miller S, Reid D. Doing play: competency, control and expression. *Cyberpsychol Behav.* 2003;6:623–32.
57. Reid D. Benefits of a virtual play rehabilitation environment for children with cerebral palsy on perceptions of self-efficacy: a pilot study. *Ped Rehabil.* 2002;5:141–8.
58. Reid D. Virtual reality and the person-environment experience. *Cyberpsychol Behav.* 2002;5:559–64.
59. Golomb MR, Warden S, Fess E, Rabin B, Yonkman J, Shirley B, et al. Maintained hand function and forearm bone Health 14 months after an In-home virtual-reality videogame hand tele-rehabilitation intervention in an adolescent with cerebral palsy. *J Child Neurol.* 2011;26:389–93.
60. Brüttsch K, Schuler T, Koenig A, Zimmerli L, Koeneke SM, Lünenburger L, et al. Influence of virtual reality soccer game on walking performance in robotic assisted gait training for children. *J Neuroeng Rehabil.* 2010;7:15–24.
61. Montesano L, Diaz M, Bhaskar S, Minguez J. Towards an intelligent wheelchair system for users with cerebral palsy. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2010;18:193–202.
62. Golomb MR, Barkat M, Rabin B, Abdelbaky M, Huber M, Burdea GI, et al. Eleven Months of Home Virtual Reality Telerehabilitation-Lessons learned. *IEEE.* 2009;2:23–8.
63. Kirshner S, Blum S, Weiss T, Tirosh E. The meal-maker: a functional virtual environment for children with cerebral palsy. *Virtual Rehabilitation International Conference.* 2009:218.
64. Guberek R, Schneiberg S, McKinley P, Cosentino F, Levin MF, Sveistrup H. Virtual reality as adjunctive therapy for upper limb rehabilitation in cerebral palsy. *Virtual Rehabilitation International Conference.* 2009:219.
65. Odle BM, Irving A, Foulds R. Usability of an adaptable video game platform for children with cerebral palsy. En: 35th Annual Northeast bioengineering conference. 2009. p. 56–7.
66. Brien M, McCormick A, McLean J, Sveistrup H. Ankle muscle activation of children with cerebral palsy exercising in virtual reality versus physical environments. *Cyberpsychol Behav.* 2006;9:661.
67. Chen YP, Kang LJ, Chuang TY, Doong JL, Lee SJ, Tsai MW, et al. Use of virtual reality to improve upper-extremity control in children with cerebral palsy: a single-subject design. *Phys Ther.* 2007;87:1441–57.
68. Sandlund M, Waterworth EL, Häger C. Using motion Interactive games to promote physical activity and enhance motor performance in children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil.* 2011;14:15–21.
69. You SH, Jang SH, Kim YH, Kwon YH, Barrow I, Hallett M. Cortical reorganization induced by virtual reality therapy in a child with hemiparetic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2005;47:628–35.
70. Deutsch JE, Borbely M, Filler J, Huhn K, Guarrera-Bowlby P. Use of a low-cost, commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Phys Ther.* 2008;88:1196–207.
71. Cikajlo I, Matjacic Z. The use of virtual reality-based dynamometer training to enhance selective joint torque control in a child with cerebral palsy. *J Med Biolog Eng.* 2010;30:329–34.