

CEU

*Universidad
Cardenal Herrera*

Departamento de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud,
Universidad CEU- Cardenal Herrera, Valencia, España.

**“EFECTO DE LA REALIDAD
VIRTUAL (KINECT) SOBRE LA
MARCHA Y EL CONTROL
POSTURAL EN PERSONAS
ADULTAS CON PARALISIS
CEREBRAL”**

José Cuenca Durán



CEU

*Universidad
Cardenal Herrera*

Departamento de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud,
Universidad CEU- Cardenal Herrera, Valencia, España.

**MASTER UNIVERSITARIO EN ATENCION FISIOTERAPICA EN LA
ACTIVIDAD FISICA Y EL DEPORTE.**

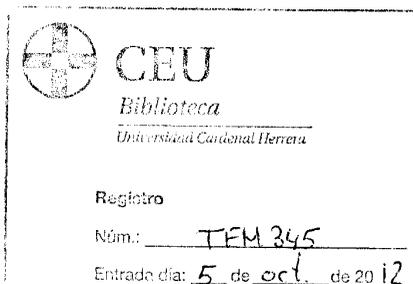
**“EFECTO DE LA REALIDAD VIRTUAL (KINECT)
SOBRE LA MARCHA Y EL CONTROL POSTURAL
EN PERSONAS ADULTAS CON PARALISIS
CEREBRAL”**

José Cuenca Durán

Tutor:

Javier Martínez Gramaje

Pepe Gil Gómez



Presentado 02 de julio de 2012

Resumen

Objetivo: la parálisis cerebral es un trastorno que afecta tanto a niños como adultos. En la mayoría de los casos pueden experimentar inestabilidad del equilibrio, dando lugar a alteraciones funcionales que se asocian con una disminución de la salud, menor autonomía y que están relacionadas con la calidad de vida. La terapia de rehabilitación para pacientes así puede ser tediosa y llevarles a la desmotivación, por lo que proporcionaría unos beneficios limitados para personas con trastornos del equilibrio. Para ello hemos determinado los efectos de un programa combinado de fisioterapia convencional y Kinect sobre la marcha y control postural en personas adultas con PC.

Material y métodos: se estudiaron 9 sujetos con parálisis cerebral. Recibieron un total de 16 sesiones. Es un estudio con un solo grupo, con un diseño pre y post valoración. La intervención se basa en un juego de Air Hockey. Se valoró la interacción del equilibrio y el movimiento (Test up&go), el porcentaje de doble apoyo en la marcha, Physiological Cost Index y la frecuencia cardiaca. Para el análisis estadístico se empleó una prueba no paramétrica para muestras relacionadas.

Resultados: si que hay un aumento de la mejoría en el equilibrio y la marcha de los sujetos (test up&go $p= 0,015$). No se hallaron cambios estadísticamente significativos en la fase del porcentaje de doble apoyo durante la marcha ($p= 0,515$), en el PCI ($p= 0,767$) y por último en la frecuencia cardiaca ($p= 0,318$).

Conclusión: el programa combinado de fisioterapia convencional y Kinect en personas adultas con una parálisis cerebral con una intervención de 2 meses muestra una mejora de la marcha y control postural. Se requieren futuros estudios aleatorios con muestras de sujetos mucho más amplias para determinar la efectividad clínica de estas terapias de realidad virtual.

Abstract

Objective: Cerebral palsy is a disorder that affects both children and adults. In most cases equilibrium can experience instability, resulting in functional disorders which are associated with reduced health, reduced autonomy and which are related to the quality of life. Rehabilitation therapy for patients and can be tedious and bring the motivation, it would provide limited benefits for people with balance disorders. So we've determined the effects of a combined conventional physiotherapy and Kinect on the fly and postural control in adults with CP.

Methods: We studied 9 subjects with cerebral palsy. A 16 sessions at all. It is a single-arm study with a pre and post assessment design. The intervention is based on a game of Air Hockey. We evaluated the interaction of balance and movement (up & go test), the percentage of double support in walking, Physiological Cost Index and heart rate. Statistical analysis was employed a nonparametric test for related samples.

Results: If there is an increased improvement in balance and gait of the subjects (up & go test $p = 0.015$). There were no statistically significant changes in the phase of the percentage of double support during gait ($p = 0.515$) in the PCI ($p = 0.767$) and finally in heart rate ($p = 0.318$).

Conclusion: The combined program Kinect conventional physiotherapy in adults with cerebral palsy with a 2-month intervention showed an improvement of gait and postural control. Future studies are required random samples of subjects much wider to determine the clinical effectiveness of these therapies virtual reality.

Introducción

La parálisis cerebral (PC) es un tipo de trastorno que afecta tanto a niños como a adultos, con una prevalencia de dos por cada 1000 nacidos vivos [1].

La esperanza de vida de personas adultas con PC es similar al de la población en general. Esta situación plantea nuevos desafíos en el ámbito de la neurorehabilitación [2]. Por ello, los problemas del envejecimiento y las secuelas en las personas adultas con PC han suscitado el interés de los investigadores en los últimos años [3].

Las secuelas manifestadas en la persona adulta con PC están directamente relacionadas con las deficiencias primarias como las alteraciones en el tono muscular (espasticidad y distonías), del equilibrio, de la fuerza muscular y del control selectivo del movimiento. La espasticidad, es una causa principal del deterioro y de la discapacidad [4], afectando al 70% de las personas con PC [2].

De manera secundaria y debido a estas manifestaciones anteriormente descritas, se produce una alteración en el movimiento condicionado por la presencia de contracturas y deformidades [5]. Todo ello conduce a una limitación sobre el nivel de actividad y restricciones en la participación debido a la hipomovilidad y vida sedentaria. Se establece que el gasto energético durante la marcha de personas con PC es 1,3 veces mayor al de personas sin discapacidad [6]. Esta forma de vida facilita la aparición de enfermedades como la obesidad y la artritis [7] y una disminución en la densidad mineral ósea, lo cual predispone en gran medida a sufrir una fractura [8].

La prevalencia de obesidad en niños con PC se ha visto incrementada en la última década, pasando del 7,7% al 16,5%, afectando principalmente a niños varones menores de 8 años con hemiparesia y diplejía con un nivel funcional I y II del sistema de la clasificación funcional de la motricidad

gruesa (GMFCS), es decir niños con una menor afectación funcional y un gran potencial para la realización de ejercicio físico [9]

Actualmente los programas de neurorehabilitación se centran en la terapia convencional y práctica de ejercicios motrices en los miembros afectados [10], dirigidos a la inhibición de la espasticidad con la expectativa de generar patrones de movimiento normales y mejora de las experiencias sensorio-motoras [11]. La espasticidad va asociada de— a debilidad muscular y patrones anormales de movimiento [12,13,14].

Diferentes autores [15,16,17] señalan la falta de estudios acerca del efecto del ejercicio terapéutico en personas adultas con parálisis cerebral.

En los últimos cuatro años se ha empezado a utilizar una nueva terapia innovadora denominada realidad virtual (RV), con un creciente uso en el tratamiento de personas con PC [18,19]. La capacidad de cambiar el entorno virtual con relativa facilidad, el grado de dificultad de la tarea y las posibilidades de adaptación a las capacidades del paciente son unas de las ventajas de estos sistemas para la rehabilitación del sistema cognitivo y motor [20].

Existen evidencias que uno de los efectos más importantes de la RV en pacientes con PC ha sido aumentar el interés, apego y motivación por la terapia [21].

Actualmente los estudios realizados en personas con PC se centran en el uso de sistemas de realidad virtual con un coste elevado [21]. Además, son pocos los estudios que utilizan sistemas de bajo coste como la Wii, pero obtienen resultados positivos como la mejora en la movilidad, procesamiento visual y control postural [22,23]. En este sentido, nuestro estudio tiene como objetivos demostrar la efectividad de la realidad virtual en personas adultas con PC sobre la marcha y control postural acercando las nuevas tecnologías al ámbito de la discapacidad, mediante un sistema de bajo coste.

Material y Métodos

Sujetos

Contamos con una muestra de 9 sujetos adultos con parálisis cerebral perteneciente a la Fundación AIXEC, de Valencia, seleccionadas para la realización del estudio

Los criterios de inclusión fueron: pertenecer a la Fundación AIXEC, diagnosticados de PC, con capacidad para ejecutar ordenes sencillas y que este dentro de un nivel 3 de GMFM, (camina utilizando un dispositivo manual auxiliar de la marcha) independientemente del uso de la ayuda técnica empleada por cada uno de los sujetos.

Todos los participantes y familias fueron informados de todos los aspectos relacionados con el estudio. Antes de comenzar con la intervención firmaron un consentimiento informado en el que—se describían los objetivos generales del estudio, las pruebas a realizar, así como el programa de actividades que tenía lugar a lo largo de la intervención.

El estudio se llevó a cabo siguiendo los requerimientos éticos establecidos en la Declaración de Helsinki de 1975 (1). Además contó con la aprobación del Comité Ético de la Universidad CEU Cardenal Herrera.

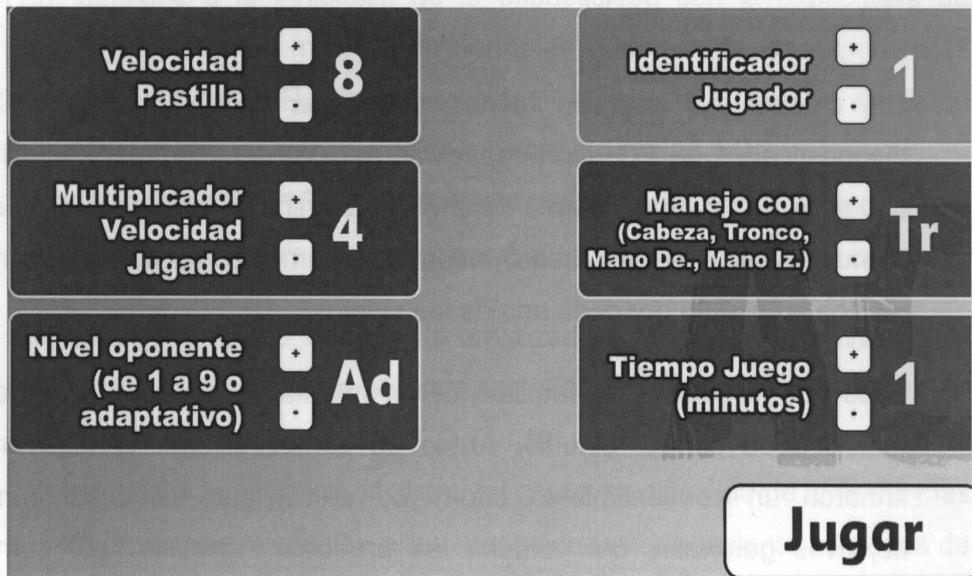
Instrumentación

- Hardware

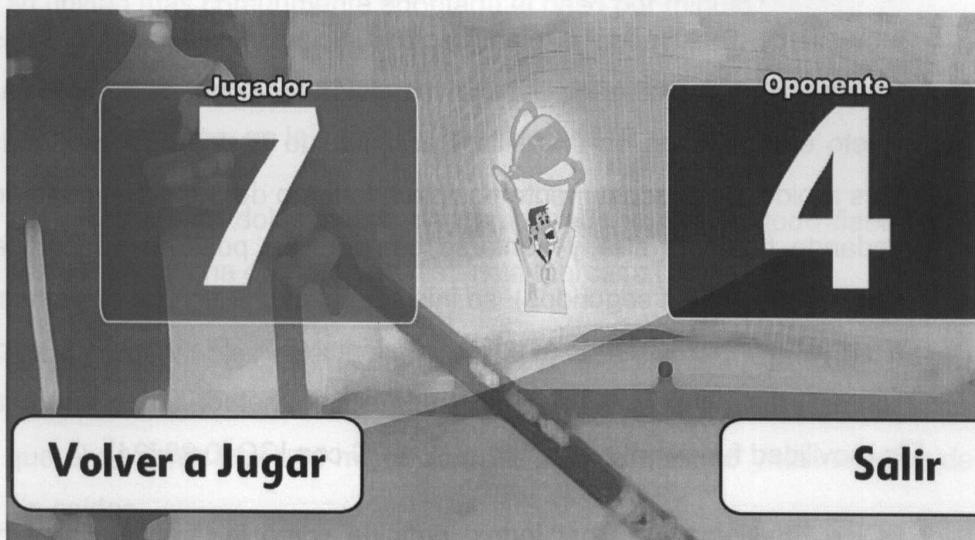
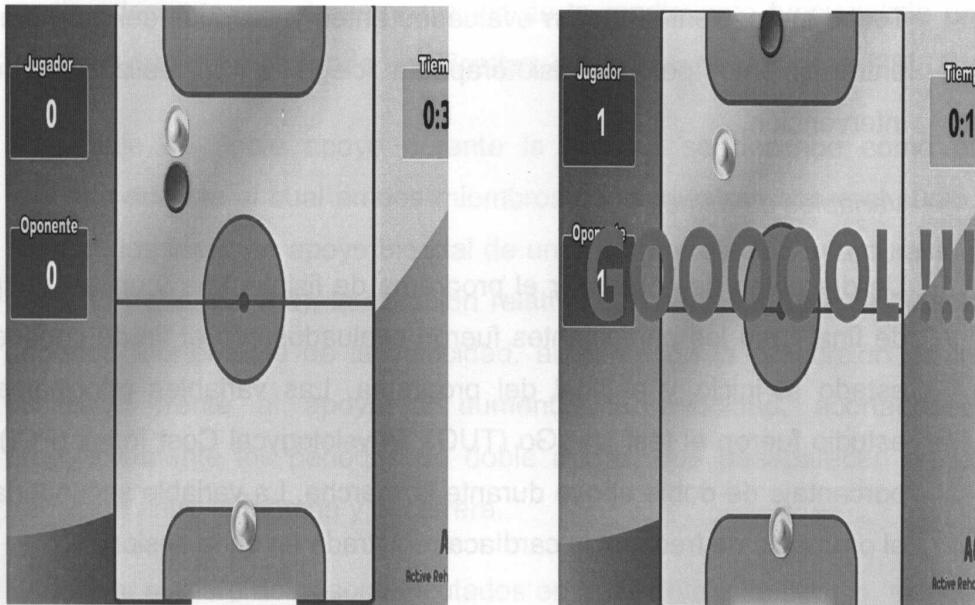
Los componentes de hardware de ACEPAR consisten en un ordenador convencional con doble núcleo de 2,66GHz, una tarjeta grafica de rendimiento Microsoft DirectX 9.0c de 4 GB de memoria RAM, una Kinect conectada a una televisión de 40" de resolución Full HD (1920 x 1080).

- Software

El sistema ACEPAR no tiene uso comercial y ha sido diseñado específicamente para este estudio. Para su correcto funcionamiento el ordenador estaba configurado con Windows 7.



La aplicación está basada en el juego de Air Hockey, donde el sujeto manejaba la ficha amarilla a modo de mando con su cabeza y el ordenador controlaba al oponente (ficha blanca). El juego consistía en marcar en la portería contraria e intentar evitar goles en propia portería. El jugador se situaba frente al TV a 2 metros de distancia para ser capturado correctamente por el sistema. Los valores del juego (velocidad de la ficha, dificultad del juego y área de movimiento) podían ser modificados de acuerdo a las características de la persona, de modo que la persona se podía ejercitar al máximo dentro sus propias características.



Intervención

Las sesiones clínicas fueron llevadas a cabo en el propio centro de AIXEC en un total de 16 sesiones, 2 veces por semana durante 15 minutos. El trabajo realizado fue un estudio longitudinal prospectivo, de medidas repetidas, controlado bajo la condición de grupo sin realizar el entrenamiento mediante ACEPAR.

Todos los pacientes fueron evaluados antes y después del programa de entrenamiento por un fisioterapeuta ciego a la realización de la intervención.

Variables de estudio

Un día antes de comenzar el programa de fisioterapia y un día después de finalizarlo los participantes fueron evaluados con el fin de conocer su estado al inicio y al final del programa. Las variables principales del estudio fueron el test Up&Go (TUG), Physiological Cost Index (PCI) y el porcentaje de doble apoyo durante la marcha. La variable secundaria fue el promedio de frecuencia cardíaca registrada en cada sesión.

El test Up&Go relaciona la compleja interacción entre equilibrio y movimiento, incluyendo la planificación, iniciación, ejecución del mismo. Habitualmente es utilizado para la valoración funcional de la movilidad. El sujeto está sentado en una silla y es instruido para levantarse, andar lo más rápido y cuidadosamente posible a lo largo de 3 metros, girar, volver andando hasta la silla y sentarse como en la posición de partida. El tiempo (medido en segundos) se inicia en el momento que el examinador dice "ya" y finaliza cuando el sujeto se sienta en la silla y apoya la espalda sobre el respaldo. TUG ha demostrado ser un método fiable para evaluar la movilidad funcional en personas con PC con ICC=0.99 [24].

PCI o Physiological Cost Index: definida como la frecuencia cardíaca registrada durante el ejercicio en un tiempo determinado por la velocidad al caminar, necesaria para recorrer una distancia. Tiene el potencial para servir como un índice de oxígeno, debido a la relación del consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca.

El gasto cardíaco y el ritmo cardíaco se relacionan (a mayor demanda de oxígeno en el músculo y mayor gasto cardíaco mayor será el oxígeno consumo. Una disminución en el valor del PCI sugiere un aumento en la eficacia de la deambulación de la persona evaluada o en otros términos

medio adecuado para la comparación de la rendimiento funcional de un individuo durante un período significativo, como bien nos muestra [25].

Porcentaje de doble apoyo durante la marcha se describe como el intervalo durante el cual ambos miembros se encuentran sobre el suelo. Existen dos fases de apoyo bipodal de un 10% (en relación a la duración del ciclo de la marcha), la duración relativa de cada una de estas fases depende fuertemente de la velocidad, aumentando la proporción de la oscilación frente al apoyo al aumentar la velocidad, acortándose progresivamente los periodos de doble apoyo, que desaparecen en la transición entre la marcha y la carrera.

Cadencia: numero de pasos ejecutados en un intervalo de tiempo, siendo su unidad mas comúnmente adoptada el paso por minuto.

Velocidad de la marcha: es la distancia recorrida por el cuerpo en la unidad de tiempo, en la dirección considerada

El porcentaje de doble apoyo ha demostrado ser un método fiable para evaluar la marcha durante una distancia marcada [25].

Estas tres variables están relacionadas ya que si disminuye el porcentaje de doble apoyo, aumentara la cadencia y el test up&go mejorara, por lo que el paciente hay una mejor deambulacion, equilibrio y disminucion de las caídas.

Los valores espacio temporales durante la marcha: Los parámetros estudiados los analizamos con "BTS G-WALK" es un sistema inalámbrico que consta de un sensor inercial compuesto por un acelerómetro triaxial, un sensor magnético y un giroscopio triaxial que al colocarlo en L5 nos permite realizar un análisis de la marcha. A partir de los datos adquiridos (parámetros espacio temporales: velocidad, cadencia, longitud de paso, anchura de paso, duración del ciclo de la marcha, tiempo de estar de pie, balanceo, longitud de zancada.), realiza un estudio de la marcha o define una estrategia de formación.

La prueba consiste en dos rectas de 4m, con 7 repeticiones para superar los 25m de mínima, el sujeto debe estar sentado en una silla con la espalda pegada al respaldo. Entonces comienza la medición y al acabar esos 25metros debe sentarse [26].

El suunto es un monitor de frecuencia cardiaca de alta precisión diseñado para hacer que un entrenamiento resulte lo mas beneficioso posible, guardando los registros de cada sesión. Es posible transferir los datos de los registros del suunto a www.movescount.com para poder analizarlos, midiendo hasta 7 parámetros: frecuencia cardiaca, EPOC, training effect, volumen de ventilación, frecuencia respiratoria, consumo de energía y consumo de oxígeno.

Nosotros tomaremos como información primordial la frecuencia cardiaca que se conoce como el número de pulsaciones (latidos del corazón) por unidad de tiempo. Esta frecuencia suele expresarse en pulsaciones por minuto, cuyo número normal variará según las condiciones del cuerpo (si está en actividad o reposo) [27].

Y por último el cálculo del gasto energético basado también en la medición de la frecuencia cardíaca. El gasto energético es la relación entre el consumo de energía y la energía necesaria por el organismo. Para el organismo mantener su equilibrio, la energía consumida debe de ser igual a la utilizada, o sea que las necesidades energéticas diarias han de ser igual al gasto energético total diario.

Este sistema solo esta probado en adultos sanos, queda por demostrar en estudios posteriores su efectividad en los resultados recogidos en pacientes con PCI.

Resultados

Los resultados aparecen reflejados mediante la media \pm DE y el valor de Significación asintomática. Las variables fueron medidas un día antes de la primera sesión y un día después de la última (pre y post), excepto el promedio de la frecuencia cardíaca que fue medida en cada sesión y de ahí analizamos 3 sesiones (primera, intermedia y última). Los resultados son mostrados en las tablas 1 (prueba de Friedman), pruebas pre y post, y en la tabla 2 (prueba de Wilcoxon), pruebas promedio.

Tabla 1: Variables medidas antes y después de las sesiones.			
Variables	PreTest	PosTest	Sig. Asinto.
% Doble apoyo	26,47(\pm 9,03)	22,94(\pm 3,94)	0,515
PCI	1,45(\pm 1,08)	1,20(\pm 0,66)	0,767
Up&Go	23,67(\pm 9,95)	20,18(\pm 7,81)	0,015

Los resultados aparecen reflejados a través de la media (\pm desviación estándar) y el valor de la significación asintomática.

Tabla 2: Variables medidas durante las sesiones.				
Variables	Promedio			Sig. Asinto.
	1	2	3	
FC	121,55(\pm 25,53)	117,66(\pm 20,97)	115,55(\pm 18,28)	0,318
FR	21(\pm 3,2)	19,11(\pm 2,62)	20(\pm 2,6)	0,069

Los resultados aparecen reflejados a través de la media (\pm desviación estándar) y el valor de la significación asintomática.

Se aprecia una mejora significativa en los valores del test up&go antes y después de las sesiones de entrenamiento con la Kinect ($p= 0,015$) en todos los sujetos, presentando una desviación estándar en la media elevada ya que la muestra son sujetos con grados de discapacidad diferente, teniendo sujetos que andaban sin ningún tipo de ayuda, hasta sujetos que necesitaban de dos monitores para andar.

Los resultados de nuestro estudio muestran una tendencia, por ahora no significativa, hacia la disminución de la frecuencia cardiaca desde el inicio hasta la última sesión. Dicha tendencia podríamos clasificarla de significativa, pues si duplicamos los sujetos de la muestra, duplicando a su vez los mismos resultados obtenidos obtenemos una significación estadística ($p= 0,005$).

En el resto de mediciones, no existen cambios significativos al comparar las variables tanto pre-sesiones y post-sesiones restantes (doble apoyo y PCI), como la promedio (FC), presentando ligera reducción en los valores de todas ellas, pero sin llegar a ser estadísticamente significativos en ninguna, doble apoyo ($p= 0,515$), PCI ($p= 0,767$) y Frecuencia Cardiaca ($p= 0,318$).

Discusión

En la actualidad, existen grandes avances tecnológicos en el área de la neurorehabilitación, especialmente estos últimos años comenzando a trabajar con la Realidad Virtual como terapia.

De los 8 artículos encontrados sobre Realidad Virtual en PC, tan solo Weiss et al 2003 y Gil-Gómez et al 2011 trabajan con adultos al igual que nuestro estudio. Teniendo en cuenta dichos estudios, nuestra muestra era superior a la de Weiss et al, pero inferior a la de Gil-Gómez.

Las sesiones de entrenamiento de nuestro estudio son inferiores a Gil-Gómez et al, siendo solo de 15 minutos/sesión, 2 sesiones/semana en 7 sujetos de la investigación y de 5 minutos/sesión en dos de ellos, por exigencias de la Fundación con la que trabajábamos.

La evidencia preliminar sugiere que la terapia de realidad virtual puede ser una alternativa terapéutica eficaz y motivadora modalidad para adultos con PC.

Para obtener del paciente un máximo esfuerzo es recomendable permitirle escoger entre una gama de "juegos" que el terapeuta previamente selecciona como adecuados para él [3]. Pero contábamos tan solo con un modelo de juego, a diferencia de los otros dos estudios que presentaban 3 o más.

Los resultados de nuestro estudio parecen apuntar en la línea de un programa combinado de ejercicio físico convencional y realidad virtual, llevada a cabo durante 2 meses en personas adultas con lesión cerebral, siendo beneficioso en la mejora del control postural y la marcha.

Según (Márquez et al) se obtuvo en la encuesta una importante satisfacción respecto a los resultados que ellos mismos han visto en sus hijos, refiriendo, entre otros, mayores habilidades físicas, mayor confianza en sí mismos, mejorías en la atención y en las destrezas. Al igual que en nuestro test de usabilidad, hubo una respuesta muy positiva y de motivación. Los participantes mostraron un gran interés hacia el juego, gracias también a la posibilidad de adaptar el juego a cada jugador, tanto en velocidad, como el nivel adaptativo, y el área de juego.

Este estudio de investigación nos permitió observar que efectivamente existe una tendencia positiva al recibir un programa de RV, y aunque los resultados mostraron poca diferencia en los análisis paramétricos (seguramente por las décimas alcanzadas, el número de población estudiada y al corto periodo de la intervención), nos aporta la tranquilidad

que existen avances con esa tendencia de ir adquiriendo una mejoría gradual en las calificaciones. Más que un resultado matemático significativo.

Conclusiones

El sistema ACEPAR ha sido diseñado especialmente para este estudio. Este trabajo presenta un simple ciego. El estudio evaluó la influencia de un sistema ACEPAR de realidad virtual en la rehabilitación de la marcha y el control postural en bipedestación. Estos pacientes mostraron que la realidad virtual es capaz de mejorar sus condiciones.

Sin embargo, las interpretaciones de los resultados se deben tomar con cuidado debido al tamaño muestral. Si hubiéramos presentado más sujetos para nuestra investigación los resultados habrían sido más significativos, como se demuestra en la frecuencia respiratoria.

Los pacientes a lo largo del tratamiento comentaron haberse diversión, preguntando que tipo de juego llevaríamos en octubre (curso siguiente), lo cual implica una motivación adicional a su tratamiento de rehabilitación convencional.

Entre ellos nació la competitividad y las ganas de superarse unos a otros, motivándose mucho más.

Como muestra de satisfacción entre los terapeutas y los sujetos de la muestra, se va a seguir utilizando el sistema ACEPAR como base diaria de tratamiento y se van a diseñar otros programas especializados en adultos con PC.

Bibliografia

1. Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A, et al. A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Dev Med Child Neurol Suppl* 2007; 109: 8–14.
2. Tosi L, Maher N, Winslor-Moore D, Murray DO, Laisen M. Adults with cerebral palsy: a workshop to define the challenges of treating and preventing secondary musculoskeletal and neuromuscular complications in this rapidly growing population. *Mac Keith Press Developmental Medicine & Child Neurology* 2009, 51 (Suppl. 4): 2–11.
3. Turk M. Health, mortality, and wellness issues in adults with cerebral palsy. *Mac Keith Press Developmental Medicine & Child Neurology* 2009, 51 (Suppl. 4): 24–29.
4. Im D, McDonald CM. New approaches to managing spasticity in children with cerebral palsy. *West J Med* 1997; 166 (4): 271.
5. Berker N, Yalçın S. *The Help Guide to Cerebral Palsy*. Second edition. Global Help. 2010.
6. van den Hecke A, Malghem C, Renders A, Detrembleur C, Palumbo S, Lejeune TM. Mechanical work, energetic cost, and gait efficiency in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 2007 Sep; 27 (6): 643-7.
7. Turk MA, Overeynder JC, Janicki MP. *Uncertain Future: Aging and Cerebral Palsy, Clinical Concerns*. Albany: New York State Developmental Disabilities Planning Council, 1995.
8. Mergler S, Evenhuis HM, Boot AM, De Man SA, Bindels-De Heus KG, Huijbers WA, Penning C. Epidemiology of low bone mineral density and fractures in children with severe cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. 2009; 51 (10): 773-8.
9. Rogozinski B, Davids J, Davids R, Christopher L, Anderson J, Jameson G, Blackhurst G. Prevalence of obesity in Ambulatory children with Cerebral Palsy. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 2007; 89: 2421-2426.

10. Duff SV, Gordon AM. Learning of grasp control in children with hemiplegic cerebral palsy, *Dev Med Child Neurol* 45 (2003), 746–757.
11. Haak P, Lenski M, Hidecker MJC, Min Li, Paneth N. Cerebral Palsy and Aging. *Developmental Medicine & Child Neurology* (2009) 10/02; 51: 16-23.
12. Giuliani CA. Dorsal rhizotomy for children with Cerebral Palsy: Supports for concepts of motor control. *Phys Ther* (1991) 71: 248-59.
13. Bleck EE. Cerebral Palsy hip deformities: Is there a consensus? Botulinum Toxin, a clinical experiments. *J Pediatr Orthop* (1994) 14: 281-2.
14. Thompson JD. Orthopaedic aspects of Cerebral Palsy. *Curr Opin Pediatr* (1994) 6: 94-8. (review).
15. Hanna SE, Rosenbaum PL, Bartlett DJ, et al. Stability and decline in gross motor function among children and youth with cerebral palsy aged 2 to 21 years. *Dev Med Child Neurol* 2009; 51: 295–302.
16. Murphy KP, Molnar GE, Lankasky K. Medical and functional status of adults with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1995; 37: 1075–84.
17. Andersson C, Mattsson E. Adults with cerebral palsy: a survey describing problems, needs, and resources, with special emphasis on locomotion. *Dev Med Child Neurol* 2001; 43: 76–82.
18. Keshner EA. “Virtual Reality and Physical Rehabilitation a New Toy or a New Research and Rehabilitation Tool?” *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 2004; 1 (8): 1-8.
19. Durlach N. “Virtual Reality Scientific and Technological Challenges” National Research Council, p. VII.
20. Jack D, Boian R, Merians S, et al. Virtual reality enhanced stroke rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 9 (2001), 308–318.

21. Chen YP. Use of Virtual Reality to improve upper extremity control in children with Cerebral Palsy: A single subject design. *Physical Therapy* (2007); 87 (11): 1441-57.
22. Hurkmans HL, van den Berg-Emons RJ, Stam HJ. Energy expenditure in adults with cerebral palsy playing Wii Sports. *Archives Of Physical Medicine And Rehabilitation* 2010; 91 (10): 1577-81.
23. Deutsch JE, Borbely M, Filler J, Huhn K, Guarrera-Bowlb P. Use of a Low Cost, Commercially Available Gaming Console (Wii) for Rehabilitation of an Adolescent With Cerebral Palsy. 1196 f *Physical Therapy* Volume 88 Number 10 (2008).
24. Maanum G, Jahnsen R, Froslic KF, Larsen KL, Keller A. Walking ability and predictors of performance on the 6-minute walk test in adults with spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2010; 52.
25. Ubhi T, Bhakta B, Ives HL, Allgar V, Roussounis SH. Randomised double blind placebo controlled trial of the effect of botulinum toxin on walking in cerebral palsy. *Arch Dis Child* 2000; 83: 481–487.
26. http://www.btsbioengineering.com/BTSBiomedical/neurology/page155/BTS_G-WALK.html.
27. Guía de manejo SUUNTO t6d.