Efectos del uso de dispositivos de realidad virtual sobre el control postural y el cybersickness en jóvenes universitarios

Adrià Marco-Ahulló,¹ Joaquín Madera² & Gonzalo Monfort-Torres³

¹ Unidad de Lesionados Medulares, Institut de Recerca Vall d'Hebron, Barcelona

² Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Departamento de Educación Física, Universidad de Valencia

³ Unidad de Educación, Florida Universitaria, Valencia.

Recibido: 2021-1-19

Aceptado: 2021-3-9

doi: 10.51698/aloma.2021.39.1.59-64

Efectos del uso de dispositivos de realidad virtual sobre el control postural y el cybersickness en jóvenes universitarios

Abstract. El objetivo principal de este estudio fue analizar los efectos de jugar con sistemas de realidad virtual sobre el control postural y el cybersickness. La muestra del estudio estaba compuesta por 21 sujetos de 18 a 30 años de edad. Todos los sujetos jugaron con un dispositivo de realidad virtual durante 30 minutos. Además, todos los sujetos realizaron dos pretest (30 minutos e inmediatamente antes de la prueba) y dos posttest (inmediatamente y 30 minutos después de la prueba). El control postural estático con ojos abiertos y cerrados y el cybersickness fueron evaluados en todas las pruebas. Los resultados mostraron diferencias significativas entre el pretest 2 y el posttest 1 en tres de las cuatro variables de control postural calculadas solo para ojos abiertos (no se encontraron diferencias en la condición de ojos cerrados). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre todos los momentos de medición, excepto entre el pretest 1 y el pretest 2. Estos resultados muestran evidencia de los posibles efectos negativos de la práctica recreativa con material de realidad virtual y sugiere que es necesario realizar una revisión de las recomendaciones de seguridad para este tipo de juegos.

Palabras clave: control postural; realidad virtual; seguridad; videojuegos; malestar; e-sports

Effects of the use of virtual reality devices on postural control and cybersickness in university students

Abstract. The main objective of this study was to analyse the effects of playing with virtual reality systems on postural control and cybersickness. The study sample was composed of 21 subjects from 18 to 30 years of age. All the subjects played a virtual reality game for 30 minutes, in addition to two pre-tests (30 minutes and immediately before the test) and two post-tests (immediately and 30 minutes after the test). Static postural control with open and closed eyes and cybersickness were evaluated in all the tests. The results showed significant differences between Pre-test 2 and Post-test 1 in three of the four postural control variables calculated for open eyes only (no differences were found in the closed eyes condition). Statistically significant differences were found at all times except between Pre-test 1 and Pre-test 2. These results are evidence of the possible negative effects of recreational use of virtual reality material and suggest that a review of the safety recommendations is required for these types of games.

Keywords: Postural balance, virtual reality, safety, videogame, cybersickness; e-sports

Correspondencia

Adrià Marco-Ahulló

Unidad de Lesiones Medulares, Vall d'Hebron Instituto de Investigación
Edificio Collserola Hospital Universitari Vall d'Hebron,
Passeig de la Vall d'Hebron, 129, 08035 Barcelona
email: adria.marco@vhir.org

Introducción

Actualmente, los videojuegos forman parte de nuestras vidas y generan un gran interés económico y social (Carbonell, 2020). La creciente popularidad comercial de los videojuegos también ha despertado un gran interés científico en cuanto a la investigación de los efectos de estos sobre diferentes facetas del comportamiento humano (Dale & Shawn Green, 2017).

La tecnología en esta industria ha realizado increíbles avances en los últimos tiempos, desde los primeros videojuegos como *Super Mario Bros*TM (1985) hasta los juegos actuales como *Skyrim*, que desde nuestra perspectiva actual hace que el primero parezca “primitivo” (Kuo et al., 2017). Dicho esto, parece que los videojuegos y las consolas de nueva generación están centrándose en la realidad virtual (RV) (Dale y Shawn Green., 2017; Kuo et al., 2017; Pallavicini et al., 2017), haciendo uso de *head mounted displays* (HMD) (es decir, cascos diseñados para mejorar la experiencia de RV) como Oculus Rift, HTC Vive, Sony PlayStation VR o Google's Daydream View.

La tecnología de RV ha abierto las puertas a un mundo de nuevas oportunidades, desde su uso para el tratamiento y la rehabilitación de pacientes con cáncer, parálisis cerebral o desórdenes de salud mental (Chirico et al., 2016; Freeman et al., 2017; Ravi et al., 2017) hasta su aplicación en el área de la recreación, utilizándose como plataforma de videojuegos entre otras opciones. De hecho, actualmente ya existen competiciones oficiales de *e-sports* centradas en el uso de la RV (Lopez-Gordo et al., 2020). Asimismo, en los últimos tiempos, los *e-sports* han experimentado un gran crecimiento en cuanto a participantes y seguidores, lo cual significa que se ha incrementado en gran medida el número de usuarios que hacen uso de las nuevas tecnologías en este ámbito (Funk et al., 2018; Hallmann & Giel, 2018).

Dicho esto, aunque la comunidad científica no duda de los posibles beneficios de la RV en algunas áreas de la medicina, los posibles efectos negativos de esta tecnología en su uso recreacional deben ser estudiados más amplia y cuidadosamente.

Previamente, otros autores llevaron a cabo estudios centrándose en los posibles efectos negativos de la RV, y analizaron variables como el malestar derivado del uso de estos materiales o *cybersickness* (Munafo et al., 2017; Treleaven et al., 2015), o el control postural (Horlings et al., 2009; Im et al., 2019; Murata, 2004). Sin embargo, en estos estudios se realizó un análisis de estas variables en un sistema de RV sin dispositivo HMD o con una versión primitiva del mismo, se midió el control postural durante el uso de la RV o se registraron los datos solo inmediatamente después de la intervención y no en otro momento para comprobar si se mantenía el efecto producido por el uso del sistema de RV.

Normalmente, los sistemas de RV utilizados para la recreación tienen recomendaciones generales de seguridad para evitar accidentes relacionados con su uso.

En el caso de la PlayStation VR (diseñada exclusivamente para la recreación), la empresa Sony ha emitido recomendaciones a los usuarios en su página web, advirtiéndoles de posibles náuseas y mareos. Sin embargo, estas recomendaciones pueden no ser suficientes, ya que no dan más información sobre los posibles efectos en el control postural y el riesgo de caídas.

El objetivo principal de este estudio fue, pues, analizar los efectos del uso recreativo de la tecnología de RV (videojuegos) sobre el control postural y el *cybersickness*, inmediatamente y 30 minutos después de su uso. La hipótesis inicial que se planteó fue que el uso de la RV en los videojuegos puede causar mareos y reducir el control postural inmediatamente después de la exposición a este entorno e, incluso, tiempo después. Confirmar esta hipótesis significaría que se podrían establecer recomendaciones más adecuadas para el uso seguro de estos dispositivos y así evitar caídas y accidentes derivados de su uso.

Material y método

Participantes

La muestra del estudio estuvo compuesta por 21 sujetos (todos hombres) universitarios de entre 18 y 30 años. Previamente al reclutamiento, se calculó el tamaño de la muestra mediante el software G*Power 3.1 (Universidad of Düsseldorf, Düsseldorf, Alemania) para un tamaño del efecto de Cohen de $f = 0.67$ (basado en datos de un estudio piloto llevado a cabo en nuestro laboratorio). El nivel de significación se fijó en 0.05 y la potencia estadística en 0.8.

Los criterios de inclusión marcados para este estudio fueron: i) tener entre 18 y 30 años (ambos incluidos); ii) no padecer enfermedades neurológicas u otra enfermedad que pudiera alterar el control postural; iii) no tener discapacidades funcionales o motrices; iv) no haber tenido lesiones en los miembros inferiores los 6 meses previos al estudio; v) no ser fumadores ni consumidores de drogas; vi) no tener alteraciones o patologías que pudieran afectar al control postural; vii) no ser un jugador habitual de RV, aunque sí pudieran serlo de videojuegos “tradicionales” y viii) ser hombres. Este último criterio fue incluido debido a que en estudios previos se encontraron diferentes efectos en el malestar derivado del uso de dispositivos de RV en hombres y en mujeres (Munafo et al., 2017).

Este estudio fue aprobado previamente por el comité ético de nuestra universidad y todos los participantes firmaron un consentimiento informado.

Procedimiento

Para la realización de este estudio se utilizó un diseño experimental intrasujetos de medidas repetidas. En este diseño (ver Figura 1), la muestra que compuso el estudio formó un único grupo, que actuó como grupo control y experimental, y en el que todos los sujetos llevaron a cabo el mismo protocolo.

Figura 1. Protocolo del estudio en el que se observan todas las fases y las pruebas que se realizan en cada una de ellas (la flecha indica el orden temporal).

Las variables de control postural y el *cybersickness* fueron evaluados en todos los momentos de medición. Entre el pretest 2 y el posttest 1, los participantes jugaron a un videojuego de RV durante 30 minutos únicamente con *inputs* visuales (el sonido no estaba conectado). Entre el pretest 1 y el pretest 2 hubo una pausa de 30 minutos (período control). El posttest 1 se realizó inmediatamente después de la intervención, y el posttest 2, 30 minutos después de la intervención.

Instrumentos y mediciones

Se utilizó una plataforma de fuerzas para medir el control postural estático (Dinascan / IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia, Valencia, España). Los sujetos realizaron las pruebas para evaluar el control postural en dos condiciones diferentes: i) en posición bipodal con ojos abiertos (OA) y ii) en posición bipodal con ojos cerrados (OC). Todos los sujetos realizaron 3 series alternas de repeticiones de 30 segundos en cada condición (OA y OC), descalzos, con los brazos colocados a los lados, manteniéndose lo más quietos posible y con los pies separados a la anchura de los hombros.

El *cybersickness* fue evaluado mediante la última versión del Simulator Sickness Questionnaire (Kennedy et al., 1993), que es el cuestionario más utilizado para la medición de los efectos secundarios de la tecnología de RV (Quintana et al., 2014).

Los dispositivos utilizados para la intervención fueron el PlayStation VR conectado a una consola PlayStation4 y el videojuego *DriveClub VR*. De la misma manera, también se conectó a la consola el paquete de volante y pedales T150 Force Feedback (Thrustmaster), para otorgarle un mayor realismo.

Análisis de los datos

Las señales del centro de presiones (CdP) fueron registradas a una frecuencia de muestreo de 40 Hz, se guardaron en un disco duro y, posteriormente, fueron filtradas digitalmente mediante un filtro Butterworth de pasa baja con una frecuencia de corte de 12 Hz. Las variables dependientes utilizadas para evaluar el control postural estático con OA y OC fueron el área de la elipse (Elipse) y variables derivadas del análisis llamado

sway density plot (SDP); es decir, distancia media (DM), tiempo medio (TM) y la media de los picos (MP).

EL SDP es una representación gráfica simple que tiene como objetivo identificar acciones de control anticipatorias u órdenes motrices que permanecen ocultas en las señales del CdP. De acuerdo con Villarrasa-Sapiña et al. (2016), este análisis se realiza calculando el número de datos que se encuentran dentro de un círculo de 3 mm de radio (el cálculo se realiza en cada uno de los datos). De este análisis se obtiene una señal en la cual el eje X representa el tiempo y el eje Y representa el número de puntos. Esta señal puede ser transformada en una curva de tiempo / tiempo multiplicando el valor de la señal en cada punto de tiempo por el período de muestreo. El siguiente paso es detectar los picos, que representan la cantidad de tiempo en el que el CdP está relativamente estable, mientras que los valles representan períodos en los que el CdP se desplaza rápidamente como consecuencia de los comandos anticipatorios del sistema nervioso central. La MP representa la media de los picos del SDP, la DM, la distancia recorrida por el CdP entre dos picos consecutivos, y el TM la media del tiempo entre picos consecutivos (Baratto et al., 2002).

Las puntuaciones de *cybersickness* se obtuvieron mediante la suma de los ítems del Simulator Sickness Questionnaire y multiplicando este resultado por 3.74, tal y como se indica en el artículo de validación del cuestionario (Kennedy et al., 1993).

Los datos de este estudio fueron analizados mediante la versión 21 del software SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). En primer lugar, se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante los test de Shapiro-Wilks y Levene, respectivamente. Cuando se observó que los datos no cumplieron dichos supuestos se pasó a aplicar pruebas no paramétricas. La prueba de la ANOVA de Friedman se utilizó para determinar los efectos de los dispositivos de RV sobre las variables estudiadas. Seguidamente se aplicó la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon con la corrección de Bonferroni. El nivel de significación se fijó en $p \leq 0.05$ en todos los análisis.

Resultados

La ANOVA de Friedman descartó la hipótesis nula en la Elipse ($\chi^2_3 = 9.17$; $p = .03$), DM ($\chi^2_3 = 10.6$; $p = .02$) y MP ($\chi^2_3 = 7.69$; $p = .05$) en la condición de OA. La comparación por pares (Figura 2) mostró diferencias significativas entre el pretest 2 y el posttest 1 en las variables Elipse ($z = -2.8$; $p = .03$; $r = .43$), DM ($z = -2.69$; $p = .04$; $r = .41$) y MP ($z = -2.8$; $p = .03$; $r = .43$) cuando los sujetos se encontraron en la posición de OA. También se encontraron diferencias en la variable MP en la condición de OA entre el pretest 2 y el posttest 2 ($z = -2.8$; $p = .03$; $r = .43$).

La ANOVA de Friedman descartó la hipótesis nula para la variable de *cybersickness* ($\chi^2_3 = 41.85$; $p < 0.001$) y la comparación por pares mostró diferencias significativas entre todos los momentos de medición menos entre el pretest 1 y el pretest 2, es decir, entre el pretest

Figura 2. Diagramas de cajas de las variables Elipse, MP, MD y MT en los diferentes momentos y condiciones. (*Diferencias significativas)

1 y el posttest ($z = -3.66$; $p = .001$; $r = .80$), pretest 1 y posttest 2 ($z = -3.17$; $p = .01$; $r = .69$), pretest 2 y posttest 1 ($z = -3.82$; $p < .001$; $r = .83$), pretest 2 y posttest 2 ($z = -3.53$; $p = .002$; $r = .77$) y entre posttest 1 y posttest 2 ($z = -3.75$; $p = .001$; $r = .81$). Los estadísticos descriptivos se muestran en la Tabla 1.

Discusión

Actualmente se necesita aumentar la literatura científica que verse sobre los efectos de los dispositivos de RV sobre aspectos como el control postural y *cybersickness* para poder modificar o mejorar las guías de seguridad para el uso de dichos dispositivos. Ya que, como se ha comentado anteriormente, el uso de estos dispositivos se está extendiendo hasta el punto de existir competiciones oficiales de *e-sports* en los que se juega con esta tecnología mediante el uso de HMD.

Los resultados hallados en el presente estudio sugieren que las personas que juegan al menos 30 minutos con videojuegos de RV deberían tomar precauciones, por lo menos los 30 minutos posteriores a su uso, ya que, pueden presentarse alteraciones en el control postural y, especialmente, sentir malestar derivado de su uso durante este período de tiempo.

Los resultados también indican que los cambios en el control postural estático únicamente se presentaron

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las puntuaciones totales de la sensación de malestar derivada del uso del VR de cada momento

	Pretest 1	Pretest 2	Posttest 1	Posttest 2
Media	5.88	4.45	41.31	16.56
Mediana	3.74	.00	37.40	14.96
Desviación estándar	8.41	7.25	33.69	16.37
Rango intercuartílico	37.40	29.92	104.72	56.10

cuando los sujetos tuvieron los ojos abiertos. Este suceso podría explicarse por el hecho de que los participantes recibieron únicamente *input* visual mediante el HMD, ya que el sonido estaba desactivado, lo que da lugar a una disonancia sensorial entre la información visual, vestibular y propioceptiva. Mientras los sistemas propioceptivo y vestibular de los sujetos recibían en todo momento estímulos del mundo real (ya que estaban sentados en silencio), su sistema sensorial visual recibía estímulos del mundo virtual (conduciendo un coche a altas velocidades). Después de la intervención, los sujetos fueron incapaces de mantener el equilibrio en la condición de OA como lo hicieron en los pretest, probablemente debido a la información contradictoria adquirida por el sistema visual, de acuerdo con la teoría de conflicto sensorial propuesta por Reason y Brand (1975). Sin embargo, cuando los participantes fueron evaluados con los ojos cerrados, esta disonancia fue anulada, ya que no recibían estímulo visual, por lo tanto, su control postural no se vio afectado.

Los cambios en el control postural estático se hacen evidentes por los cambios en las variables Elipse, MP y DM. El incremento de la Elipse indica una mayor área del CdP, lo que evidenció una menor estabilidad. La reducción de la MP y el aumento de la DM se pueden interpretar como que el CdP se mantuvo estable durante períodos de tiempo más cortos y que existió una mayor distancia entre zonas de estabilidad. Este hecho podría estar relacionado con un mayor control anticipatorio y activo de los sujetos después de jugar con el sistema de RV (Baratto et al., 2002; Villarrasa-Sapiña et al., 2016).

En cuanto a los efectos de los sistemas de RV sobre el *cybersickness*, esta sensación puede aumentar después de jugar 30 minutos con el dispositivo de RV y puede durar 30 minutos después de la experiencia. Estos cambios son sorprendentes y llevan a la conclusión de que los jugadores deben esperar al menos 30 minutos para que estos efectos mengüen y evitar así posibles accidentes en situaciones como levantarse después de jugar y conducir cuando todavía se está bajo los efectos de este malestar.

Aunque algunos estudios recomiendan *exergames* y RV para mejorar el equilibrio a largo plazo (Gioftsidou et al., 2013; Karahan et al., 2015; Rendon et al., 2012), existen pocas evidencias que muestren los efectos agudos del uso recreacional de los sistemas de RV sobre el equilibrio.

Sinitiski et al. (2018) encontraron cambios después de realizar una tarea de marcha en un ambiente de RV durante 45 minutos: hallaron síntomas leves de *cyber-*

sickness y una mayor inestabilidad postural. La mayor diferencia de este estudio con el que se expone en este trabajo es que en el presente estudio se hizo uso de un dispositivo HMD para proporcionar la RV, en cambio, Sinitski et al. (2018) utilizaron un dispositivo de proyección curvo de 180° y un tapiz rodante incrustado en una plataforma de movimiento con seis grados de libertad.

Los estudios de Treleaven et al. (2015), Munafo et al. (2017) e Im et al. (2019) utilizaron HDM para sumergir a los sujetos en mundos virtuales y analizar sus posibles efectos nocivos. Treleaven et al. (2015) usaron un HMD Wrap™ 1200VR (Vuzix, Rochester, Nueva York) para controlar un avión con movimientos con el cuello. Aproximadamente, un tercio de los participantes experimentaron *cybersickness* hasta 24 horas después de la intervención. Munafo et al. (2017) llevaron a cabo un estudio consistente en dos experimentos en los que los participantes jugaron a dos juegos de RV diferentes durante 15 minutos con el Oculus Rift HMD. Los autores de dicho trabajo concluyeron que las variaciones en el CdP de los sujetos eran predictoras del *cybersickness* después de jugar a los videojuegos de RV, que los niveles de *cybersickness* varían según el tipo de tarea de RV y que las mujeres son más propensas a verse afectadas en esta variable que los hombres. Finalmente, Im et al. (2019) hallaron que el uso de un dispositivo comercial de RV (Gear VR SM-R323, Samsung, Suwon, República de Corea) para visualizar vídeos inmersivos de RV podría producir *cybersickness* y empeorar el control postural durante su uso.

Murata (2004) hizo uso del HMD SCUBA (Phillips, EE. UU.) y estudió los efectos de la inmersión en ambientes de RV en diferentes tiempos de exposición; obtuvo resultados similares a los mostrados en este estudio, pues halló altos niveles de inestabilidad postural y *cybersickness* tras una exposición prolongada a estos sistemas de RV. Sin embargo, el presente estudio se diferencia del de Murata (2004) en que este último solo analizó los efectos inmediatos de la RV para diferentes tiempos de exposición, pero no después del juego, y aunque la tecnología y los gráficos resultaron “primitivos” en comparación a los utilizados en este estudio, los resultados fueron similares.

Dicho esto, el presente estudio no está exento de limitaciones. En primer lugar, aunque se ha observado que los efectos negativos de la RV pueden prolongarse en el tiempo, no se ha comprobado si estos se mantienen más allá de 30 minutos después del uso de dicha tecnología. Además, al no implementar el *input* auditivo del videojuego, la tarea difiere de la que realizarían los usuarios en situaciones habituales, viéndose reducida la ecología de este trabajo. Por último, vistos los efectos presentados en este trabajo, también hubiese sido pertinente analizar otras variables fisiológicas, como la frecuencia o variabilidad cardíaca y observar los cambios en estas. Para superar las limitaciones del presente estudio y establecer nuevas líneas de investigación, los futuros trabajos deberían ocuparse de los efectos de las plataformas de videojuegos con RV con

una entrada auditiva sobre el control postural y diferentes variables fisiológicas con un seguimiento de dichos factores en períodos superiores a 30 minutos.

En conclusión, los resultados que se presentan en este trabajo muestran que el uso de dispositivos de RV como plataforma de videojuegos puede generar *cybersickness* en usuarios expuestos a sus efectos durante al menos 30 minutos, que estos síntomas se pueden experimentar inmediatamente después de la sesión, y que los efectos pueden durar hasta 30 minutos después (con un menor nivel de malestar). También se demostró que la RV tiene una influencia negativa sobre el control postural estático en usuarios noveles expuestos a esta tecnología durante 30 minutos.

Agradecimientos: Los autores desean mostrar su agradecimiento a los doctores Xavier García-Massó y Luis-Millán González por su colaboración y apoyo en el desarrollo de esta investigación.

Declaración de divulgación del autor: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Baratto, L., Morasso, P. G., Re, C., & Spada, G. (2002). A new look at posturographic analysis in the clinical context: Sway-density versus other parameterization techniques. *Motor Control*, 6(3), 246-270.
- Carbonell, X. (2020). La industria de los videojuegos contra el trastorno de juego por Internet: El partido del siglo. *Aloma: revista de psicología, ciències de l'educació i de l'esport*, 38(1), 39-48.
- Chirico, A., Lucidi, F., De Laurentiis, M., Milanese, C., Napoli, A., & Giordano, A. (2016). Virtual Reality in Health System: Beyond Entertainment. A Mini-Review on the Efficacy of VR During Cancer Treatment. *Journal of Cellular Physiology*, 231(2), 275-287. <https://doi.org/10.1002/jcp.25117>
- Dale, G., & Shawn Green, C. (2017). The Changing Face of Video Games and Video Gamers: Future Directions in the Scientific Study of Video Game Play and Cognitive Performance. *Journal of Cognitive Enhancement*. <https://doi.org/10.1007/s41465-017-0015-6>
- Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, 47(14), 2393-2400. <https://doi.org/10.1017/S003329171700040X>
- Funk, D. C., Pizzo, A. D., & Baker, B. J. (2018). eSport management: Embracing eSport education and research opportunities. *Sport Management Review*, 21(1), 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2017.07.008>
- Gioftsidou, A., Vernadakis, N., Malliou, P., Batzios, S., Sofokleous, P., Antoniou, P., Kouli, O., Tsapralis, K., & Godolias, G. (2013). Typical balance exercises or exergames for balance improvement? *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 26(3), 299-305. <https://doi.org/10.3233/BMR-130384>

- Hallmann, K., & Giel, T. (2018). ESports – Competitive sports or recreational activity? *Sport Management Review*, 21(1), 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2017.07.011>
- Horlings, C. G. C., Carpenter, M. G., Küng, U. M., Honegger, F., Wiederhold, B., & Allum, J. H. J. (2009). Influence of virtual reality on postural stability during movements of quiet stance. *Neuroscience Letters*, 451(3), 227-231. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.12.057>
- Im, H., Kim, T.-H., Bang, S.-H., Lee, J. K., Song, J.-J., & Chae, S.-W. (2019). Postural instability according to virtual reality program. *Acta Oto-Laryngologica*, 139(8), 697-700. <https://doi.org/10.1080/00016489.2019.1614223>
- Karahan, A. Y., Tok, F., Ta kin, H., Kuçuksaraç, S., Ba aran, A., & Yıldırım, P. (2015). Effects of Exergames on Balance, Functional Mobility, and Quality of Life of Geriatrics Versus Home Exercise Programme: Randomized Controlled Study. *Central European Journal of Public Health*, 23 Suppl, S14-18. <https://doi.org/10.21101/cejph.a4081>
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220. https://doi.org/10.1207/s15327108i-jap0303_3
- Kuo, A., Hiler, J. L., & Lutz, R. J. (2017). From Super Mario to Skyrim: A framework for the evolution of video game consumption. *Journal of Consumer Behaviour*, 16(2), 101-120. <https://doi.org/10.1002/cb.1620>
- Lopez-Gordo, M. A., Kohlmorgen, N., Morillas, C., & Pelayo, F. (2020). Performance prediction at single-action level to a first-person shooter video game. *Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00482-2>
- Munafo, J., Diedrick, M., & Stoffregen, T. A. (2017). The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Experimental Brain Research*, 235(3), 889-901. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4846-7>
- Murata, A. (2004). Effects of Duration of Immersion in a Virtual Reality Environment on Postural Stability. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 17(4), 463-477. https://doi.org/10.1207/s15327590i-jhc1704_2
- Pallavicini, F., Ferrari, A., Zini, A., Garcea, G., Zancacchi, A., Barone, G., & Mantovani, F. (2017). What Distinguishes a Traditional Gaming Experience from One in Virtual Reality? An Exploratory Study. *Advances in Human Factors in Wearable Technologies and Game Design*, 225-231. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60639-2_23
- Quintana, P., Bouchard, S., Serrano, B., & Cárdenas-López, G. (2014). Los efectos secundarios negativos de la inmersión con realidad virtual en poblaciones clínicas que padecen ansiedad. *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica*, 19(3), 197-207. <https://doi.org/10.5944/rppc.vol.19.num.3.2014.13901>
- Ravi, D. K., Kumar, N., & Singhi, P. (2017). Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: An updated evidence-based systematic review. *Physiotherapy*, 103(3), 245-258. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2016.08.004>
- Reason, J. T., & Brand, J. J. (1975). *Motion sickness*. Academic Press.
- Rendon, A. A., Lohman, E. B., Thorpe, D., Johnson, E. G., Medina, E., & Bradley, B. (2012). The effect of virtual reality gaming on dynamic balance in older adults. *Age and Ageing*, 41(4), 549-552. <https://doi.org/10.1093/ageing/afs053>
- Sinitski, E. H., Thompson, A. A., Godsell, P., Honey, J., & Besemann, M. (2018). Postural stability and simulator sickness after walking on a treadmill in a virtual environment with a curved display. *Displays*, 52, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2018.01.001>
- Treleaven, J., Battershill, J., Cole, D., Fadelli, C., Freestone, S., Lang, K., & Sarig-Bahat, H. (2015). Simulator sickness incidence and susceptibility during neck motion-controlled virtual reality tasks. *Virtual Reality*, 19(3-4), 267-275. <https://doi.org/10.1007/s10055-015-0266-4>
- Villarrasa-Sapiña, I., García-Massó, X., Serra-Añó, P., Garcia-Lucerga, C., Gonzalez, L.-M., & Lurbe, E. (2016). Differences in intermittent postural control between normal-weight and obese children. *Gait & Posture*, 49, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.06.012>