

Miedo a las alturas en mareo postural perceptual persistente en ambientes arquitectónicos simulados por realidad virtual

Fear of heights in persistent postural perceptual dizziness in architectonic environments simulated with virtual reality

César Fuenzalida R.¹, Bruno Rossi R.^{2,3}, Cecilia Wolff C.⁶, Paul Délano R.^{1,4,5}

Resumen

Introducción: El mareo postural perceptual persistente (MPPP) es una de las causas más frecuentes de vértigo crónico. Si bien, los pacientes con MPPP tienen alteraciones de la percepción espacial, se desconoce si presentan alteraciones en el miedo a las alturas. Para no exponer a pacientes con MPPP a ambientes reales con altura, nos propusimos utilizar la realidad virtual para estudiar el miedo a las alturas. **Objetivo:** Cuantificar el miedo a las alturas en pacientes con MPPP y controles mediante ambientes simulados con realidad virtual. **Material y Método:** Estudio transversal, prospectivo de casos y controles pareados por edad y sexo. Se reclutaron pacientes con MPPP del Servicio de Otorrinolaringología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile entre los años 2020 y 2021. Se midió presencia subjetiva de miedo y taquicardia. Los escenarios se desarrollaron con el programa Blender 2.8 y Oculus Link para equipo Oculus Quest. Se utilizaron cinco escenarios a diferentes alturas (pisos 1, 3, 6, 12, 19). **Resultados:** Se reclutaron 20 sujetos (12 mujeres, 47 años en promedio), incluyendo 10 pacientes con MPPP y 10 controles sin síntomas vestibulares. Ningún sujeto del grupo control presentó miedo en los escenarios presentados, mientras que siete pacientes del grupo MPPP tuvieron miedo subjetivo a una altura menor a 40 metros virtuales (Fischer, $p < 0,05$). **Conclusión:** Los pacientes con MPPP presentan, con mayor frecuencia, miedo subjetivo a las alturas que los controles, pero se requiere de nuevos estudios para determinar si este miedo es específico de MPPP, o es general a otras causas de vértigo crónico.

Palabras clave: Acrofobia, MPPP, vértigo, arquitectura, realidad virtual.

Abstract

Introduction: Persistent Postural Perceptual Dizziness (PPPD) is one of the most common causes of chronic vertigo. While patients with PPPD have spatial perception alterations, it is unknown whether they present alterations in fear of heights. To avoid exposing patients with PPPD to high places, we aimed to use virtual reality to quantify fear of heights. **Aim:** To quantify fear of heights in patients with PPPD and controls using simulated environments with virtual reality. **Material and Method:** A prospective cross-sectional study of age- and sex-matched case-control pairs. PPPD patients were recruited from the Otolaryngology Service of the Clinical Hospital of the University of Chile between 2020 and 2021. Presence of subjective fear and tachycardia were measured. The scenarios were developed using Blender 2.8 and Oculus Link for the Oculus Quest. Five scenarios at different heights (floors 1, 3, 6, 12, 19) were used. **Results:** Twenty subjects were recruited (12 women, average age of 47 years), including 10 PPPD patients and 10 controls without vestibular symptoms. None of the control group subjects presented fear in the presented scenarios, while seven patients in the PPPD group had subjective fear at a height lower than virtual 40 meters (Fischer, $p < 0.05$). **Conclusion:** Patients with PPPD present a greater proportion of subjective fear to heights than controls, but further studies are required to determine if this fear is specific to PPPD or is general to other causes of chronic vertigo.

Keywords: Acrophobia, PPPD, vertigo, architecture, virtual reality.

¹Servicio de Otorrinolaringología, Hospital Clínico Universidad de Chile. Santiago, Chile.

²Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

³Grupo de Investigación en Entornos Virtuales. Santiago, Chile.

⁴Departamento de Neurociencias. Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

⁵Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, AC3E, Universidad Federico Santa María. Valparaíso, Chile.

⁶Departamento de Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Este trabajo fue financiado por ANID BASAL FB0008.

Recibido el 31 de marzo de 2023. Aceptado el 10 de agosto de 2023.

Correspondencia:
César Fuenzalida R.
Servicio de Otorrinolaringología. Hospital Clínico Universidad de Chile. Carlos Lorca Tobar 999, Independencia. Santiago, Chile.
Email: cesar.fuenzalidarozas@gmail.com

Introducción

El mareo postural perceptual persistente (MPPP) es una de las causas más frecuentes de vértigo crónico^{1,2}. En 2017, la Sociedad de Barany define criterios para el cuadro clínico de MPPP, incluyendo presencia de mareos, inestabilidad o vértigo no rotatorio durante la mayoría de los días, por un período mayor o igual a tres meses. Los síntomas, habitualmente, aumentan con la postura erecta y con exposición a estímulos visuales en movimiento o patrones visuales complejos³.

En general, el MPPP tiene un evento gatillante, que puede ser una crisis vestibular, un evento vascular como un presíncope, o una crisis de pánico³. Estos gatillantes generan cambios adaptativos como:

- Estrategia de control postural: aumento del tono muscular por miedo a caer.
- Dependencia visual-somatosensorial: el paciente no confía en las señales vestibulares que envía el oído interno. Como consecuencia, el sujeto utiliza información que nos aporta el sistema visual y propioceptivo para controlar el equilibrio.
- Hipervigilancia del ambiente: el paciente va a estar más atento a lo que ocurre en el ambiente por el miedo a caer.

Recientemente, un estudio publicado por Breinbauer y cols., en 2020, reportó una alteración de la percepción espacial en pacientes con MPPP⁴. Este trabajo utilizó el paradigma de Morris-*Water Maze* modificado para ser utilizado con una pantalla de computador. Este trabajo demostró que los pacientes con MPPP realizan trayectorias irregulares y con más errores de navegación espacial para alcanzar la plataforma blanco que pacientes con otras patologías vestibulares y controles. Esta alteración de la navegación espacial permite diferenciar en forma individual a los pacientes con MPPP de los controles sanos con una precisión superior al 80%⁴. Si bien este trabajo fue seminal en demostrar una alteración de la percepción y navegación espacial en pacientes con MPPP, se desconoce si estos pacientes presentan en forma adicional una alteración de la percepción espacial de altura, que gatille un mayor miedo a las alturas.

Ahora, la pregunta es ¿cómo podríamos

estimar el miedo a las alturas en pacientes con MPPP? Nos enfrentamos al problema práctico de evaluar a los pacientes a diferentes alturas, pero sin exponerlos al riesgo que conlleva la situación en un ambiente real. En este sentido, la realidad virtual inmersiva podría ser una herramienta de gran utilidad para comprender la relación entre patologías vestibulares y el entorno espacial. En particular, una de las grandes ventajas de la realidad virtual es que permite el estudio y la cuantificación de la acrofobia o miedo a las alturas en un ambiente controlado y seguro^{5,6}.

De esta forma, la pregunta de investigación de este trabajo fue ¿tienen los pacientes con MPPP mayor miedo a las alturas que sujetos sin patología vestibular? Para responder esta pregunta, abordamos este problema con un enfoque transdisciplinario desarrollando ambientes de realidad virtual arquitectónico, en conjunto con académicos de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.

Objetivo

Cuantificar el miedo a las alturas en pacientes con MPPP y en controles sin síntomas vestibulares, mediante ambientes arquitectónicos simulados con realidad virtual.

Material y Método

Estudio transversal, prospectivo de casos y controles. Se reclutaron pacientes por conveniencia de manera consecutiva a partir de aquellos que fueron diagnosticados con mareo postural perceptual persistente en el Servicio de Otorrinolaringología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile, entre los años 2020 y 2021. Además, se reclutaron individuos para el grupo control pareado por sexo y edad. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética-Científica del Hospital Clínico de la Universidad de Chile.

Para los pacientes, los criterios de inclusión fueron: Edad entre 18 y 70 años, escolaridad mayor a seis años, diagnóstico de MPPP acorde a criterios de la Sociedad Barany³. Los criterios de exclusión fueron: Uso de neurofármacos

(benzodiazepinas, antiepilépticos), o uso concomitante de supresores vestibulares durante las evaluaciones, incapacidad visual o física, y trastorno de ansiedad diagnosticado por salud mental.

Diseño arquitectónico de realidad virtual

En la actualidad, los sistemas de realidad virtual que habitualmente se ocupan en investigación clínica, proyectan al paciente ambientes abstractos, extraños y no contex-

tualizados, por lo que no reflejan situaciones cotidianas. Es por ello que en este trabajo se planificó cambiar estos espacios enajenantes por ambientes con valores arquitectónicos realistas de acuerdo a variables como alturas, anchos y calidades lumínicas de los espacios virtuales. Se implementaron escenarios realistas de lugares reconocibles para los usuarios, como balcones y ventanales a diferentes alturas desde distintos pisos de un edificio (Figura 1).

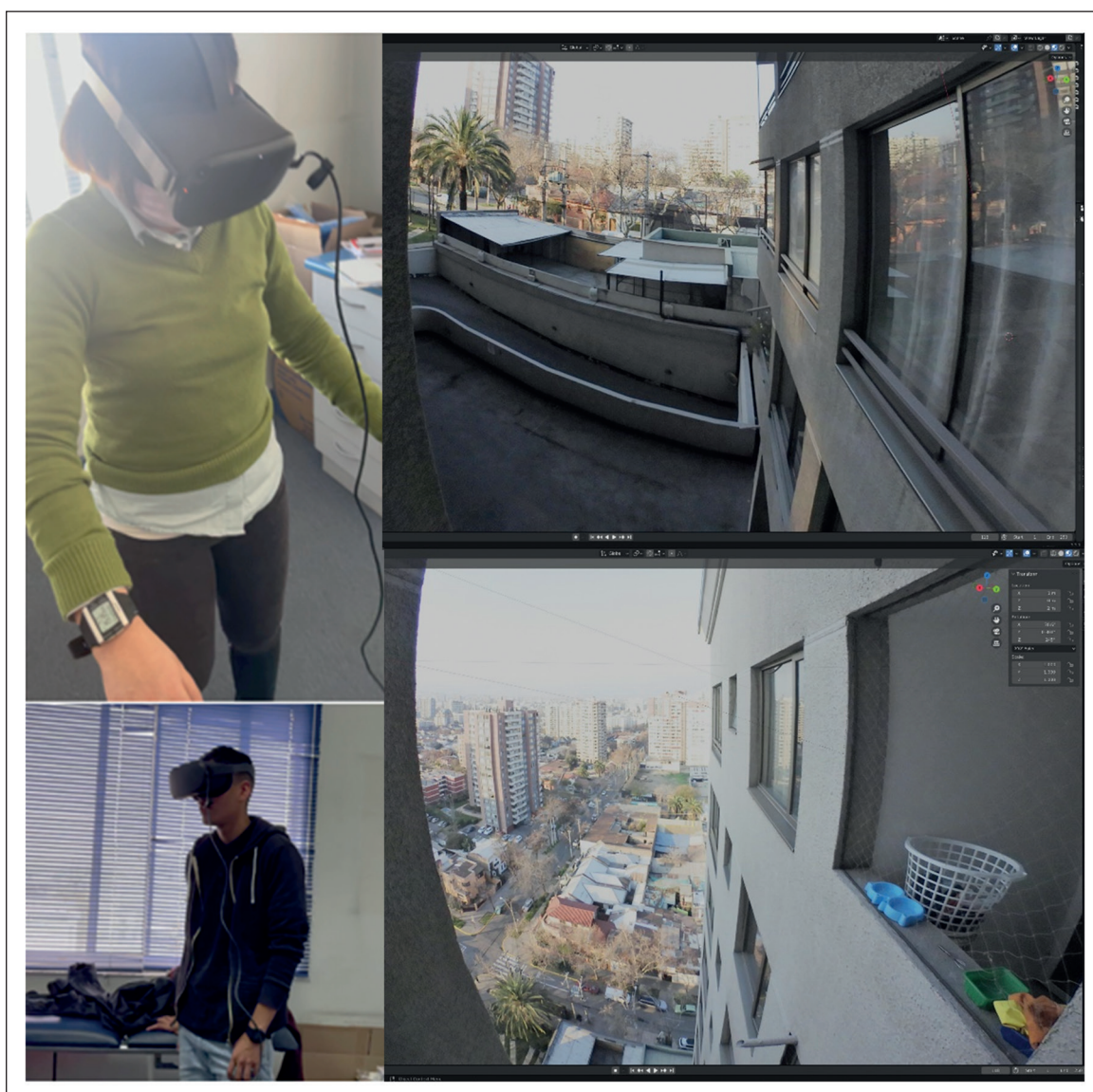


Figura 1. Procedimiento experimental. En los paneles de la izquierda se muestran ejemplos de sujetos con visor de realidad virtual, en los paneles de la derecha, se muestran representaciones en 2D de la visualización por realidad virtual a diferentes alturas. Arriba se observa el diseño a 9 metros (piso 3) de altura, mientras que abajo se muestra a 57 metros (piso 19) de altura.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Estos escenarios virtuales fueron desarrollados utilizando una serie de fotos en 360° de diferentes pisos (cada piso se definió con una altura de 3 metros), con vista parcial al exterior, donde sólo se podía mirar desde una posición determinada. Los escenarios se desarrollaron con el programa Blender 2.8, asociado al programa de Oculus Link para enlace de equipo Oculus Quest (Figura 1).

Procedimiento

Se invitó a participar a pacientes con MPPP que cumplieran con los criterios de ingreso y a controles sanos pareados por edad y sexo. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado y se les realizó un estudio otoneurológico que incluyó audiometría, impedanciometría y prueba de impulso céfalico asistida por video (vHIT). La evaluación del miedo a las alturas por medio de realidad virtual se realizó en una sesión aparte, en la que se citó al paciente especialmente para este fin. Durante la evaluación con realidad virtual se midió la frecuencia cardíaca con monitor con sensor tipo cinturón torácico (Beurer®). Los pacientes se expusieron a seis escenarios de un edificio, cambiando solamente en los pisos desde el piso 1 hasta el piso 19. Cada piso tuvo una altura de 3 metros, por lo que se evaluó con una altura máxima en el escenario de realidad virtual de 57 metros. Para seguridad e impedir caídas, los sujetos evaluados utili-

zaron un arnés anclado al techo de la pieza de evaluación. Durante las sesiones de evaluación en los distintos escenarios con realidad virtual se registró la presencia de miedo subjetivo a las alturas mediante una pregunta sencilla de respuesta si/no: “¿sintió miedo en el escenario?”, y la presencia objetiva de miedo mediante la medición de taquicardia, definida como frecuencia cardíaca mayor a 100. Se registraron videos de las sesiones.

Análisis de datos

Se obtuvieron descriptores estadísticos para MPPP y controles. Para las comparaciones, se utilizó la prueba de t para datos normales y la prueba de Mann-Whitney para distribuciones no normales. Para determinar diferencias entre proporciones se utilizó la prueba exacta de Fisher. Se definió como significativo un error $\alpha < 0,05$ y contraste para dos colas. Se utilizó el programa Stata 14 y Prism 9.

Resultados

Se reclutó un total de 20 sujetos, incluyendo 10 pacientes con diagnóstico de MPPP y 10 controles sin síntomas vestibulares. Ambos grupos se conformaron por seis mujeres y cuatro hombres, mientras que la edad promedio fue de 47 años para ambos grupos. La presencia de miedo (Figura 2A) a las alturas fue determi-

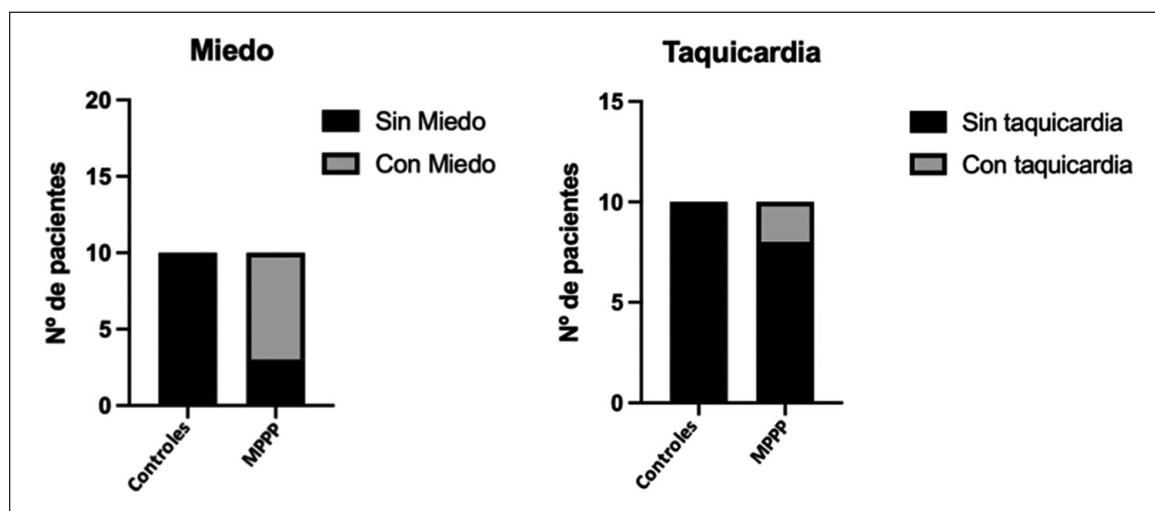


Figura 2. Presencia de miedo (A) y taquicardia (B) a las alturas en ambiente arquitectónico con realidad virtual.

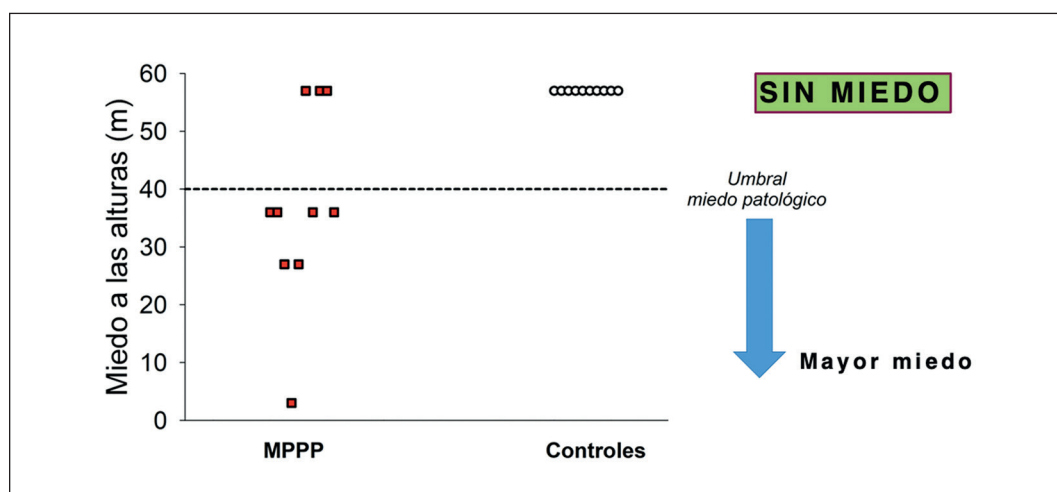


Figura 3. Umbral de miedo a las alturas estimado en metros en escenario de realidad virtual. Los sujetos con MPPP se grafican con cuadrados rojos, mientras que los controles sanos con círculos blancos. El valor de los símbolos (cuadrados rojos y círculos blancos) en el eje "Y" representa la altura en que los sujetos presentaron miedo. La estimación del miedo a las alturas se realizó multiplicando por 3 metros el piso al cual fueron expuestos en el escenario de realidad virtual. Aquellos que no tuvieron miedo a las alturas se grafican en 57 metros (piso 19). Acorda a la literatura, un umbral de miedo a las alturas menor a 40 metros se estima como miedo patológico a las alturas.

nada de forma subjetiva, preguntándole directamente al evaluado si siente miedo. Ningún sujeto del grupo control presentó miedo subjetivo en ninguno de los escenarios, mientras que siete pacientes del grupo MPPP tuvieron miedo a las alturas acorde a la pregunta de presencia de miedo (prueba exacta de Fischer, $p < 0,05$). Por otro lado, sólo dos pacientes del grupo MPPP tuvieron taquicardia (como medida objetiva de miedo), mientras que ningún control tuvo taquicardia (Figura 2B, diferencia no significativa).

Finalmente, en relación a umbral de miedo estimado en metros de altura en la realidad virtual (3 metros por piso), los siete pacientes del grupo MPPP que presentaron miedo subjetivo, lo hicieron en escenarios con alturas menores a los 40 metros (Figura 3). En nuestra muestra, los hombres fueron más sensibles al miedo que las mujeres, ya que, del grupo de hombres, los 4 pacientes evaluados presentaron miedo en alguno de los escenarios (prueba exacta de Fischer, $p < 0,05$), en cambio en el grupo mujeres, sólo 3 mujeres de 6 presentaron miedo en uno o más escenarios (prueba exacta de Fischer, $p > 0,05$).

Discusión

Logramos cuantificar el miedo a distintas alturas mediante realidad virtual en pacientes con MPPP, comprobando nuestra hipótesis, ya que siete de los pacientes del grupo MPPP presentaron miedo subjetivo a las alturas en umbrales bajo 40 m, punto de corte según Wuehr y cols.⁵. Si bien los hombres presentaron en mayor proporción miedo a las alturas que las mujeres, esta aseveración debe tomarse con precaución debido al pequeño tamaño de la muestra de nuestro estudio.

Sistema vestibular, percepción espacial, fobia y ansiedad

El entorno espacial influye sobre la posición del cuerpo, la postura y el movimiento, y de esta forma entonces, incide sobre la percepción vestibular. Por otro lado, se sabe que las aferencias vestibulares modulan la actividad de neuronas hipocampales, influyendo en la percepción espacial⁷⁻⁹. De esta forma, la interacción entre sistema vestibular y percepción espacial es bidireccional. Respecto al MPPP, a partir de los resultados de

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Breinbauer y cols.⁴, se sabe que estos pacientes presentan alteraciones en su percepción espacial. Con los resultados que obtuvimos en el presente trabajo, podemos agregar que los pacientes con MPPP tienen mayor miedo a las alturas.

De manera especulativa, se puede proponer que las alteraciones espaciales de los pacientes con MPPP pueden repercutir en circuitos cerebrales del sistema límbico involucrado en fobias, miedo y ansiedad¹⁰. Adicionalmente, existe evidencia de que patologías como la agorafobia (miedo a lugares llenos de personas) comparten alteraciones estructurales de la corteza vestibular con el MPPP¹¹. Así, el MPPP puede ser un factor que desencadena el miedo a las alturas, con consecuencias deletéreas para la salud mental. Sin embargo, y muchas veces la separación clara entre síntomas de MPPP y cuadros ansiosos y/o fóbicos puede ser difícil y más bien tienden a coexistir¹².

Es importante reconocer que este estudio cuenta con varias limitaciones como, por ejemplo, el número relativamente pequeño de pacientes reclutados, ya que este trabajo se desarrolló durante la pandemia COVID-19, por lo que sólo logramos reclutar a 10 sujetos por grupo. Otra limitación es la falta de un grupo de estudio con patología vestibular, pero sin MPPP. A futuro será necesario comparar nuestros resultados con un grupo de pacientes con otro tipo de patologías vestibulares, ya que estudios previos han mostrado que el miedo a las alturas estaría aumentado en patologías como vértigo posicional y migraña vestibular, pero no en vestibulopatía bilateral¹³.

En relación con los escenarios de realidad virtual, debe recalarse que este esfuerzo requirió de un trabajo transdisciplinar entre investigadores de medicina y arquitectura, lo que permitió el desarrollo exitoso de esta investigación. Estos esfuerzos deben replicarse y fortalecerse, ya que es evidente que la realidad virtual es una herramienta segura para los pacientes con patología vestibular con múltiples posibilidades de desarrollo¹⁴. Es importante resaltar que la realidad virtual también puede ser utilizada para guiar el diagnóstico y la rehabilitación de pacientes con MPPP¹⁵⁻¹⁶. A futuro, sería ideal utilizar escenarios aún más realistas y complejos, logrando una mayor capacidad de inmersión que permita estudiar

mejor la percepción de miedo a las alturas y otras alteraciones de la percepción espacial.

Conclusión

La acrofobia, medida a través del miedo subjetivo a las alturas es más frecuente en pacientes con MPPP que en controles sanos. La creación de ambientes mediante realidad virtual es una herramienta útil para la evaluación de pacientes con vértigo. Se requiere de nuevos estudios para determinar si este miedo es específico al MPPP, o es general a otras causas de vértigo crónico.

Bibliografía

1. Marambio J, Seguí G, Cortés I, Breinbauer H. Mareo postural perceptual persistente: La causa más frecuente de mareo crónico es fácil de tratar. *Rev Otorrinolaringol Cir Cabeza Cuello*. 2019;79(3):323-328. doi: 10.4067/S0718-48162019000300323
2. Agrawal Y. Dizziness Demographics and Population Health. *Dizziness and Vertigo Across the Lifespan*. Editors: A. Tucker Gleason, Bradley W. Kesser. Elsevier, 2019;1-7. doi: 10.1016/B978-0-323-55136-6.00001-0
3. Staab JP, Eckhardt-Henn A, Horii A, et al. Diagnostic criteria for persistent postural-perceptual dizziness (PPPD): Consensus document of the committee for the Classification of Vestibular Disorders of the Bárány Society. *J Vestib Res*. 2017;27(4):191-208. doi:10.3233/VES-170622
4. Breinbauer HA, Contreras MD, Lira JP, et al. Spatial Navigation Is Distinctively Impaired in Persistent Postural Perceptual Dizziness. *Front Neurol*. 2020;10:1361. doi:10.3389/fneur.2019.01361
5. Wuehr M, Breitung K, Decker J, Ibarra G, Huppert D, Brandt T. Fear of heights in virtual reality saturates 20 to 40 m above ground [published correction appears in *J Neurol*. 2019 Jun 10;]. *J Neurol*. 2019;266(Suppl 1):80-87. doi:10.1007/s00415-019-09370-5
6. Huppert D, Wuehr M, Brandt T. Acrophobia and visual height intolerance: advances in epidemiology and mechanisms. *J Neurol*. 2020;267(Suppl 1):231-240. doi:10.1007/s00415-020-09805-4
7. Faúndez JP, Delano P. Asociaciones entre función vestibular y habilidades cognitivas: Un enfoque básico-clínico. *Rev Otorrinolaringol Cir Cabeza Cuello*. 2019; 79(4):453-464. doi:10.4067/S0718-48162019000400453
8. Kingma H, van de Berg R. Anatomy, physiology, and

- physics of the peripheral vestibular system. *Handb Clin Neurol*. 2016;137:1-16. doi:10.1016/B978-0-444-63437-5.00001-7
9. Kingma H, Maurice J. Biophysics of the Vestibular System, in Adolfo Bronstein (ed.), Oxford Textbook of Vertigo and Imbalance, Oxford Textbooks in Clinical Neurology (Oxford, 2013; online ed, Oxford Academic, 1 Feb. 2013). doi:10.1093/med/9780199608997.003.0001
10. Maywald M, Pogarell O, Levai S, et al. Neurofunctional differences and similarities between persistent postural-perceptual dizziness and anxiety disorder [published online ahead of print, 2023 Jan 19]. *Neuroimage Clin*. 2023;37:103330. doi:10.1016/j.nicl.2023.103330
11. Indovina I, Conti A, Lacquaniti F, Staab JP, Passamonti L, Toschi N. Reduced betweenness centrality of a sensory-motor vestibular network in subclinical agoraphobia. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2019;2019:4342-4345. doi:10.1109/EMBC.2019.8857332
12. Dieterich M, Staab JP. Functional dizziness: from phobic postural vertigo and chronic subjective dizziness to persistent postural-perceptual dizziness. *Curr Opin Neurol*. 2017;30(1):107-113. doi:10.1097/WCO.0000000000000417
13. Brandt T, Grill E, Strupp M, Huppert D. Susceptibility to Fear of Heights in Bilateral Vestibulopathy and Other Disorders of Vertigo and Balance. *Front Neurol*. 2018;9:406. doi:10.3389/fneur.2018.00406
14. Wolff C. Carta al Editor. *Rev Otorrinolaringol Cir Cabeza Cuello*. 2019;79(4):493-494. doi:10.4067/S0718-48162019000400493
15. Aharoni MMH, Lubetzky AV, Arie L, Krasovsky T. Factors associated with dynamic balance in people with Persistent Postural Perceptual Dizziness (PPPD): a cross-sectional study using a virtual-reality Four Square Step Test. *J Neuroeng Rehabil*. 2021;18(1):55. doi:10.1186/s12984-021-00852-0
16. Yamaguchi T, Miwa T, Tamura K, et al. Temporal virtual reality-guided, dual-task, trunk balance training in a sitting position improves persistent postural-perceptual dizziness: proof of concept. *J Neuroeng Rehabil*. 2022;19(1):92. doi:10.1186/s12984-022-01068-6