



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS DE VALLADOLID

GRADO DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

MEMORIA DE TRABAJO DE FIN DE GRADO TITULADO

“Efectos del aprendizaje perceptivo mediante ejercicios
binoculares en voluntarios con baja estereopsis”

ALUMNO: Ángela Pintor Fernández

TUTOR: Irene Sánchez Pavón

TIPO DE TFG: Investigación

Convocatoria Mayo 2023

ÍNDICE

RESUMEN.....	
INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 Neurodesarrollo visual y periodo crítico.....	4
1.2 Ambliopía.....	5
1.3 Aprendizaje perceptivo.....	6
MATERIAL Y MÉTODOS.....	8
2.1 Sujetos.....	8
2.2 Material.....	8
2.3 Metodología.....	9
2.4 Análisis estadístico.....	10
RESULTADOS.....	11
DISCUSIÓN.....	15
4.1 Limitaciones del estudio.....	16
CONCLUSIÓN.....	17
BIBLIOGRAFÍA.....	18
ANEXOS.....	20
Anexo 1: Hoja de información al paciente.....	20
Anexo 2: Consentimiento informado.....	22

RESUMEN

La ambliopía es la principal causa de disminución de la agudeza visual durante la infancia, causada por una interrupción durante el desarrollo del sistema visual, normalmente durante la primera década de vida. El periodo de desarrollo visual es aquel intervalo de tiempo donde la plasticidad cerebral comienza a disminuir prolongándose hasta los 7-8 años. Después de este periodo se estima que es complicado mejorar la función visual. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar o mejorar la estereopsis, mediante el aprendizaje perceptivo con realidad virtual en población adulta, así como valorar el impacto de la terapia en otras capacidades visuales (agudeza visual, vergencias fusionales y acomodación). Para ello, se ha usado un programa de realidad virtual de aprendizaje perceptivo desarrollado por VisionaryTool. Se evaluó a un grupo reducido de personas y se realizó un contraste de hipótesis no paramétrico para muestras relacionadas mediante el test de Wilcoxon, tomándose $p < 0.05$ como normal. Los resultados de estereopsis medidos con el test Ramdon Dot 1s mostraron una mejora estadísticamente significativos. Se puede concluir que las terapias dicópticas mediante el aprendizaje perceptivo pueden servir para reforzar la vía visual mejorando algunas capacidades, aun encontrándonos fuera del periodo de plasticidad cerebral.

ABSTRACT

Amblyopia has been the leading cause of decreased visual acuity during childhood, caused by a disruption in the development of the visual system, usually during the first decade of life. Visual development is considered since the birth until 7-8 years, interval of time where brain plasticity decrease. After that, it is difficult to improve visual function. The purpose of this study is improve the stereoacuity in patients with rehabilitated amblyopia, outside the critical period, analyzing whether there is any change in any other parameter of their visual system. To do this, we have used a virtual reality software of perceptual learning developed by VisionaryTool. A small group of 6 patients was included. A non-parametric hypothesis contrast was performed for related samples using the Wilcoxon test. Five of the six patients were an improvement of their stereoacuity with the Ramdon Dot 1s test statistically significant. In conclusion, this proof of concept indicates that dichoptic therapies through perceptual learning could be a visual therapy adequate to reinforce the visual pathway, outside of period of brain plasticity.

1.INTRODUCCIÓN

1.1 NEURODESARROLLO VISUAL Y PERIODO CRÍTICO

Al nacer el ser humano es prácticamente ciego, apenas puede detectar movimientos u objetos que aparezcan en el campo visual. Esto se debe a que en el nacimiento el sistema visual es inmaduro y durante los tres primeros meses de vida se produce lo que llamamos el "período crítico del desarrollo visual".¹ Cualquier alteración ocular que se produzca durante este período puede causar cambios en la organización del córtex visual, causando ambliopía.¹ Este periodo está comprendido desde el nacimiento, hasta los 8-10 años. Se pueden establecer tres etapas fundamentales en este periodo: los 2-3 meses de edad (aparecen las fijaciones y los movimientos sacádicos, y se comienza a distinguir formas y colores, la visión es monocular), los 4 años (donde el niño comienza a leer y escribir) y los 8 años (se termina el periodo de plasticidad).²

Cualquier alteración que se produzca a nivel ocular durante la infancia puede causar cambios en la organización del córtex visual pudiendo llegar a causar ambliopía.¹ Por tanto, la edad en la que el periodo de plasticidad cerebral se da por finalizado variará encontrándose en una media de 8-10 años.²⁻³

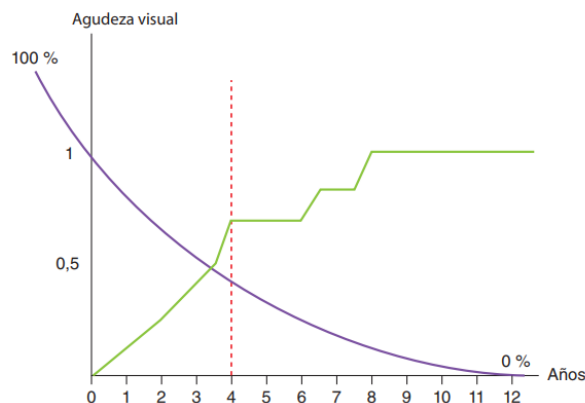


Figura 1. En verde se representa la AV máxima para cada edad y en morado se representa la plasticidad cerebral. Los 4 años son la edad crítica para conocer el estado del desarrollo visual, donde se espera que haya avanzado significativamente ya que a partir de esa edad la plasticidad cerebral disminuye más del 50%. Imagen extraída de Guiones de oftalmología, 2012.³

El córtex visual o también conocido como área 17 de Brodmann o V1 se encarga de realizar un mapa espacial del campo visual existiendo así una correspondencia entre áreas de V1 y los puntos retinianos.⁴ El área 18 de Brodmann o V2 (encargada de las experiencias visuales pasadas) y el área 19 de Brodmann o V3, V4 y V5 (que recogen la información de V1 y V2) son áreas corticales secundarias y rodean al área 17 o V1.⁵ Las vías del área 19 de Brodmann, tienen funciones diferentes, por ejemplo, V3 se encarga de la orientación, V4 del color y V5 del movimiento. Las vías neuronales que se encargan de procesar la información y de estimularla simultáneamente se encuentran en el cuerpo geniculado lateral (NGL) y sus fibras se proyectan en la capa IV desde la V1 (que se subdivide en las capas IV, C, α y β). La información

del sistema *parvocelular*, (células más sensibles al color, discriminación fina entre dos puntos y la estereopsis, se proyecta el campo visual central, la fovea, y son las células que suelen estar afectadas en la ambliopía) es procesada por la capa IV C β ; y la información del sistema *magnocelular* (células más sensibles al movimiento y dirección, se proyectan en la retina periférica) es procesada por la capa IV C α . Las células corticales comienzan a hacer sinapsis unas con otras después del nacimiento al comenzar a recibir estímulos luminosos.² Las fibras del NGL que llegan a la capa IV son neuronas corticales simples³ y por tanto solo reciben estímulos de un ojo, pero luego se conectan con células complejas que son binoculares, es decir, agrupan información de ambos ojos siendo inhibidas por estímulos antagonistas o contrarios.³ La ambliopía implica una diferencia entre las imágenes retinianas (bien por diferencias refractivas o por desviación de los ejes visuales), es decir, una disparidad que el córtex visual no va a conseguir fusionar, obligándolo así a suprimir una de las dos imágenes.

Cuando hay una estimulación visual anómala las causas más habituales son: los errores refractivos (sobre todo hipermetropía y astigmatismo), la anisometropía, el estrabismo, las cataratas congénitas o ptosis palpebral. Durante los tres primeros meses de vida estas alteraciones del desarrollo visual normal ocasionarán alteraciones graves, como el nistagmus. Sin embargo, cuanto más tarde aparezcan, la afectación de la vía visual será menor. Una de estas alteraciones podría ser ambliopía en los primeros tres años de vida o la ausencia de estereopsis si ocurre posteriormente. La anomalía más habitual en el desarrollo de la vía visual es la ambliopía y la supresión cortical de dicho ojo. La ambliopía afecta del 1 al 5% de la población general y entre un 3% y 4% de los niños en edad preescolar.⁶ En las personas mayores de 40 años es muy frecuente encontrar ojos ambliopes que no se detectaron en la infancia.⁷ Es importante detectar la ambliopía antes de los 4 años ya que el pronóstico es mejor, existiendo una posibilidad éxito de tratamiento casi del 95%, después de esta edad el porcentaje disminuye significativamente.³ Pero esto no significa que a partir de los 4 años no exista tratamiento, sino que la recuperación puede ser más lenta, ya que incluso el córtex cerebral del adulto tiene plasticidad sináptica a pesar de no estar en el periodo de desarrollo, solo que esta es mucho menor.²

1.2 AMBLIOPIA

Durante mucho tiempo la ambliopía ha sido la principal causa de disminución de la agudeza visual durante la infancia, causada por una interrupción del desarrollo del sistema visual, normalmente durante la primera década de vida. El diagnóstico de la ambliopía se puede establecer cuando la agudeza visual es menor de lo que se espera para su edad obtenida con la mejor corrección.² No existe una prueba concreta que diagnostique esta patología de manera directa, sino que más bien, se hace por descarte. Una vez que se han descartado patologías que pueden alterar la visión y no se consigue una agudeza visual acorde con la edad, es cuando se sospecha de ambliopía.

Se ha considerado que para el tratamiento de la ambliopía se debe corregir totalmente la ametropía del niño, a ser posible, antes de los 4 años para

equilibrar la representación cortical de ambos ojos. La oclusión es el tratamiento Gold standard de la ambliopía, pero es cierto que tiene varias desventajas.⁷

- Es de larga duración.
- Provoca un impacto negativo tanto psicológico como emocional del niño.

Los criterios de oclusión determinados por el grupo PEDIG (2003) establecen la estandarización del uso del parche 2 horas o 6 horas en el tratamiento de la ambliopía sin necesidad de ampliar el horario ya que se ha demostrado que no reporta mejor pronóstico en la mejora de la función visual. Se llegó a esta conclusión tras un tratamiento de 4 meses en el que se encontró mejoría en ambos grupos, sin ninguna mejora adicional en el ojo ocluido durante más de 6 horas tras el tratamiento.⁸ Además, también se extrajo otra conclusión y es que se podría combinar 1 hora de actividades en visión próxima (estimulación obligatoria del ojo ambliope) con 2 horas de oclusión, siendo igual de efectivo que una oclusión de 6 horas. Esto presenta una gran ventaja y es que será más fácil que se efectúe el cumplimiento del tratamiento.⁷

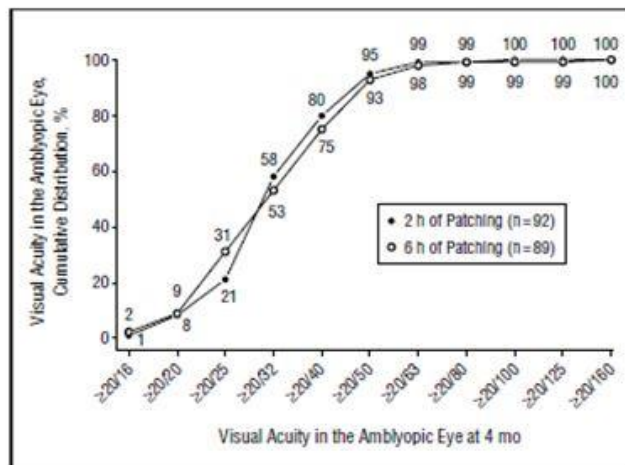


Figura 2. Actividad visual del ojo ambliope. Imagen extraída de <https://www.saera.eu/la-ambliopia-y-diferentes-metodos-de-correccion/>

1.3 APRENDIZAJE PERCEPTIVO

El conjunto de terapias o entrenamientos sensoriales que a menudo mejoran el rendimiento visual del paciente es lo que se conoce como aprendizaje perceptivo.² Existen varios estudios que apoyan terapias de aprendizaje perceptivo, como método complementario a la oclusión, incluso en el tratamiento de la ambliopía tanto en niños mayores de 7 años como en adultos. Es un proceso activo donde a través de la realización de tareas repetitivas se consigue un desarrollo sensorial con la experiencia.¹

El entrenamiento visual perceptivo se trata de una técnica que implica un proceso de aprendizaje para mejorar las capacidades visuales (agudeza visual, sensibilidad al contraste, estereopsis...) en las personas ambliopes.² Este tipo de entrenamiento visual depende en gran medida de la atención que el paciente preste a las actividades que se le proporcionan. Existe cada vez más evidencia de que estas terapias parecen ser de utilidad para la rehabilitación de la

ambliopía fuera del periodo crítico para reforzar las conexiones neuronales implicando una mejora en las funciones visuales.^{8,9} La terapia dicóptica para tratar la ambliopía se basa en una reducción de la supresión en el córtex visual del ojo ambliope mediante la presentación simultánea de estímulos que se perciben de forma separada y diferente en cada ojo.⁹

El objetivo de este estudio es desarrollar o mejorar la estereopsis, mediante aprendizaje perceptivo con realidad virtual, en población adulta así como valorar el impacto de la terapia en otras capacidades visuales (agudeza visual, vergencias fusionales y acomodación).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. SUJETOS

Se incluyeron voluntarios asintomáticos mayores de edad que presentaban una agudeza visual superior a 0.8 en ambos ojos, con estrabismo inferior a 10 dioptrías prismáticas (DP), con estereopsis mayor a 200 segundos de arco. No formaron parte del estudio aquellas personas que presentaban alguna patología ocular, que tuvieran ambliopías sin rehabilitar o alguna discapacidad mental o cognitiva. Los voluntarios aceptaron la participación en el estudio mediante lectura de hoja de información y firma del consentimiento informado.

2.2 MATERIAL

A los pacientes se les entregaron dos hojas, la primera recogía la información general del estudio, cuál es el objetivo del estudio, si existen riesgos y que tiene el derecho de abandonar cuando quieran. La segunda hoja es el consentimiento informado que firmaron todos los interesados en participar en el estudio, asegurando haber leído la hoja de información y haberla comprendido realizando tantas consultas hayan necesitado.

Se utilizó el material habitual de un gabinete Optométrico: retinoscopio para medir la amplitud de acomodación y el MEM; barras de prismas para medir los rangos vergenciales y las forias o tropias (si fuera necesario), un ocluser para realizar el cover test, la varilla y el ala de Maddox, el test de estereopsis Ramdon Dot 1s (Vision Assessment Corporation) y el programa Optonet (Optonet Ltd, UK) y la realidad virtual de Visionary (Visionary tool, España).



Figura 3. Test de estereopsis Ramdon Dot 1s. Imagen extraída de <https://images.app.goo.gl/YD8jE5huR37WvRqS6>

Los pacientes jugaron a un único juego durante las 4 horas de terapia, donde el paciente se encontraba en una isla y hay una serie de elementos flotando por una isla durante un corto periodo de tiempo, tenía que memorizarlos y cuando caían al suelo, el paciente tenía que situar un aspa en el plano en el que cada objeto se encontraba, teniendo como referencia una mira, y eso era lo que determine la estereopsis del paciente y como iba aumentando la demanda, ya que se repetía en diferentes posiciones de mirada y distancias.



Figura 4. Isla pirata, mundo virtual de Visionary VR dónde el paciente juega durante las horas de terapia. Imagen extraída de: <https://www.facebook.com/watch/?v=963269517161146>

2.3 METODOLOGÍA

Cuando el voluntario fue informado del estudio previsto, se evaluó su estado visual para valorar si era apto para el estudio, según los criterios ya mencionados. Se tomó una serie de datos iniciales como edad y sexo, estado refractivo, agudeza visual en visión lejana en ambos ojos, con su corrección, mediante la E de Snellen con barras de hacinamiento.

Una vez se tomaron los datos principales, se evaluó el estado acomodativo (amplitud de acomodación, MEM y flexibilidad acomodativa tanto binocular como monocular), el estado binocular (cover test en visión próxima y lejana, varilla de Maddox, Vergencias fusionales) y oculomotor (MOE). La estereoagudeza fue medida con el test de puntos aleatorios y contornos en visión lejana usando el programa informático Unidad Bueno-Matilla (Optonet Ltd, Reino Unido) y en visión próxima con el test Ramdon dot 1s. Por último, se evaluó con el sistema de realidad virtual perteneciente a Visionary tool la dominancia ocular midiendo el balance de luminosidad que requiere el ojo ambliope y el director para percibir los estímulos de ambos ojos de forma semejante. Al paciente se le mostraban dos letras, una diferente a cada ojo y tiene que decir cual ve primero, de esta forma se puede saber cuál es el ojo dominante y que proporción disminuyendo así la luminancia de ese ojo hasta conseguir igualar las imágenes de ambos ojos.

En caso de que cumpliera con los criterios de inclusión y firmase el consentimiento informado pasaba a formar parte del estudio. Tras completar las horas de terapia del estudio se registraron los mismos datos que en la evaluación optométrica inicial.

2.3.1 Sesiones de Terapia Visual

Los voluntarios incluidos en el estudio realizaron 3-4 semanas de entrenamiento en un sistema de realidad virtual en sesiones diarias de 20/30 minutos (2-3 sesiones semanales) durante 4 semanas hasta completar 4 horas de entrenamiento.

El entrenamiento se realizó con el software Visionary VR comercializado por la empresa VisionaryTool SL., con unas gafas de Realidad Virtual (HCT VIVE PRO EYE, HTC). Visionary está clasificado como producto sanitario Clase I y tiene como finalidad el tratamiento de la ambliopía y los problemas vergenciales no estrábicos.

2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos clínicos se recogieron en una hoja de Excell Microsoft 365 y se analizaron estadísticamente con el programa SPSS 26.00 (IBM Statistics para windows) para Windows. Se evaluó la normalidad de los datos mediante el test Kolmogorov-Smirnov (tomando un valor de $P > 0,05$ como distribución normal). Al tratarse de un tamaño muestral reducido se realizó un contraste de hipótesis no paramétrico para muestras relacionadas mediante el test de Wilcoxon para realizar las comparaciones de los valores estereopsis antes y después de la terapia visual. Se tomó un valor de $P < 0,05$ como estadísticamente significativo. Además, se ha realizado un análisis descriptivo de todas las variables recogidas.

3. RESULTADOS

Se han reclutado a 6 pacientes aunque en algunos casos ha sido complicado completar la terapia (4 horas) en el plazo de 4 semanas como se muestra en la Tabla 1.

Pacientes	Días en completar la terapia	Horas de juego
1	29	3.08
2	29	4.05
3	31	4.10
4	14	4.01
5	21	4.20

Tabla 1. Tiempo y días que los pacientes han empleado en terminar la terapia.

Se presenta el valor promedio junto con su desviación estándar y el rango mínimo-máximo de todas las variables clínicas medidas antes y después de la terapia en la Tabla 2, salvo la refracción ya que no se realizó ningún cambio. No existiendo diferencias estadísticamente significativas en ninguna de ellas.

Parámetro clínico	Media ± DE	Rango (Min-Max)	p-valor
AV OD pre-TV	0.97±0.08	0.80-1.00	0.32
AV OD post-TV	0.91±0.20	0.50-1.20	
AV OI pre-TV	1.05±0.12	0.90-1.20	0.32
AV OI post-TV	1.01±0.09	0.90-1.20	
MEM OD pre-TV	1.333±0.85	0.75-3.00	0.06
MEM OD post-TV	1.83±1.37	0.75-4.50	
MEM OI pre-TV	0.88±0.607	0.00-1.50	0.34
MEM OI post-TV	1.04±0.46	0.50-1.75	
Flex Ac OD pre-TV	11.16±5.73	0.50-16.00	0.06
Flex Ac OD post-TV	12.66±6.50	1.50-19.00	
Flex Ac OI pre-TV	13.41±4.00	6.00-17.00	0.49
Flex Ac OI post-TV	14.25±6.36	2.00-19.00	
Flex Bin Pre-TV	10.16±6.30	1.00-17.00	1.00
Flex Bin Post-TV	10.16±7.08	1.00-20.00	
AA OD Pre-TV	12.08±3.27	6.75-15.00	0.50
AA OD Post-TV	11.16±3.41	6.25-14.25	
AA OI Pre-TV	11.38±4.09	5.00-15.00	0.17
AA OI Post-TV	9.38±3.27	6.00-14.25	
Ratio contraste Pre-TV	3.80±1.89	1.10-6.43	0.12
Ratio contraste Post-TV	1.84±0.84	1.20-3.30	
VFP VL rotura PRE	21.66 ± 10.81	10-40	0.34
VFP VL rotura POST	18.6 12.9	4-35	
VFP VL recobro PRE	16.50 ± 10.19	8-35	0.46
VFP VL recobro POST	13.5 ± 11.05	1-30	
VFN VL rotura PRE	7.66 ± 3.44	4-12	0.13
VFN VL rotura POST	9.33 ± 3.93	4-16	

VFN VL recobro PRE	6.33 ± 2.94	2-10	0.85
VFN VL recobro POST	7.33 ± 5.46	2-18	
VFP VP rotura PRE	*	*	*
VFP VP rotura POST	*	*	*
VFP VP recobro PRE	*	*	*
VFP VP recobro POST	*	*	*
VFN VP rotura PRE	13.5 ± 8.2	0-25	0.29
VFN VP rotura POST	17.1 ± 8.81	8-30	
VFN VP recobro PRE	17.3 ± 9.85	10-30	0.34
VFN VP recobro POST	12.8 ± 7.75	6-25	

Tabla 2. Los distintos parámetros clínicos medidos antes y después de la terapia visual, representados por pre y post TV (terapia visual), junto con la media y la desviación estándar y los rangos máximo y mínimo de cada una de ellas. AV es la agudeza visual siendo OD ojo derecho y OI ojo izquierdo; MEM es el método de estimulación monocular; Flex ac y Flex ac bin hacen referencia a la flexibilidad acomodativa monocular y binocular, respectivamente; AA se trata de la amplitud de acomodación; VFN y VFP se trata de convergencia y divergencia respectivamente; VL y VP visión lejana y cercana. El símbolo (*) en los valores de convergencia 4 de los 6 pacientes agotaron la barra de prismas.

Se han comparado los distintos parámetros de estereopsis medidos en diferentes pruebas antes y después de la terapia, existiendo solo una mejora estadísticamente significativa en la estereopsis medida con el test Ramdon dot 1s ($p=0.04$), aunque se esperaba que no solo existiesen mejoras en la estereopsis, puesto que en el juego indirectamente se entrenaban más parámetros como las vergencias y, sin embargo no existen mejoras apreciables.

Los datos de estereopsis comparados están recopilados en la Tabla 3 y en las Figuras 1, Figura 2 y Figura 3.

Pacientes	Estereopsis puntos aleatorios (")	Estereopsis contornos (")	Estereopsis Random Dot 1s (")
1.Inicial	1300	238	500
1.Final	119	119	63
2.Inicial	476	119	1300
2.Final	119	59	250
3.Inicial	976	238	1300
3.Final	1300	119	160
4.Inicial	1300	119	500
4.Final	238	74	250
5.Inicial	1300	60	400
5.Final	1300	50	100
6.Inicial	938	1300	200
6.Final	996	951	200
Media ± DE inicial	1098.3 ± 390.1	345.6 ± 472.9	700 ± 477.7
Media ± DE final	678.6 ± 581.9	304.5 ± 357.8	170.5 ± 77.6
p-valor	0.22	0.34	0.04

Tabla 3. Medidas de los tipos de estereopsis antes y después de la terapia, junto con la media y la desviación estándar de cada uno de los test de estereopsis empleados. La unidad son los

segundos de arco. Si un paciente presenta 1300 de estereopsis significa que no tiene nada de estereopsis.

A pesar de que los pacientes no presentan mejoras estadísticamente significativas en los test de estereopsis en visión lejana de puntos aleatorios y contornos, al mirar la media y la desviación estándar, vemos que sí existen cambios, a pesar de no alcanzar una estadísticamente significativa $p \leq 0.05$.

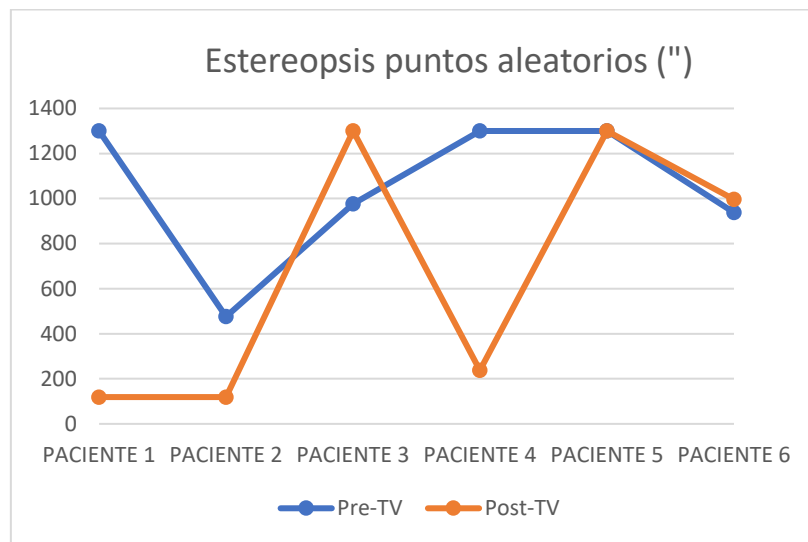


Figura 1. Estereopsis de puntos en visión lejana medida con el programa Optonet de la unidad Bueno-Matilla, en azul tenemos los resultados antes de la terapia y en naranja después.

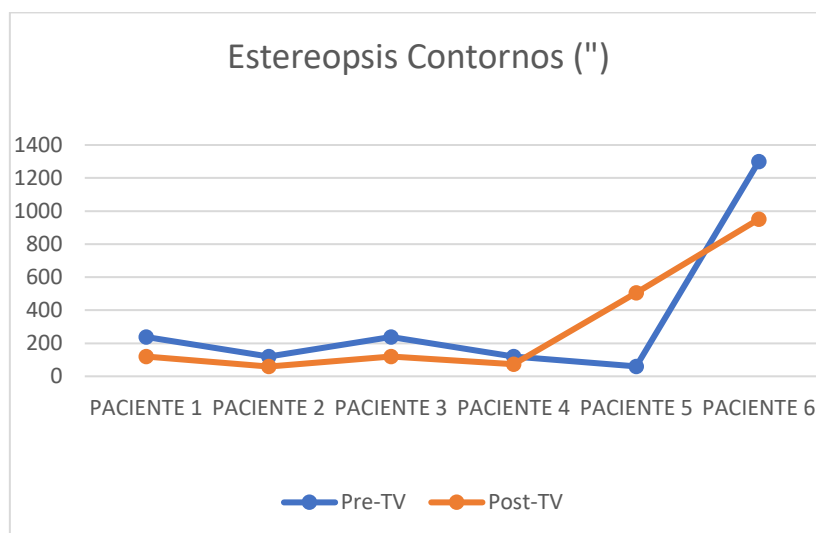


Figura 2. Estereopsis de barras en visión lejana medida con el programa Optonet de la unidad Bueno-Matilla en azul tenemos los resultados antes de la terapia y en naranja después.

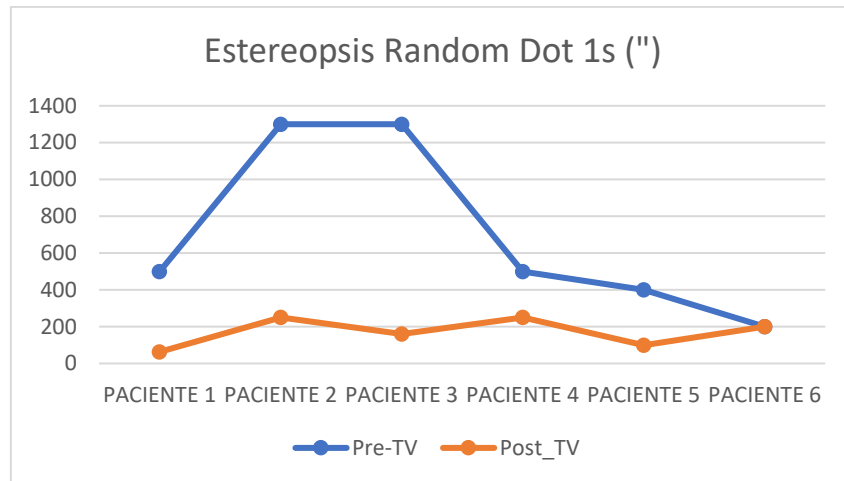


Figura 3. Estereopsis medida con el test Ramdon Dot antes y después de la realidad virtual.

Cabe destacar que la estereopsis de barras y el test de círculos de Ramdon dot 1s, contienen pistas monoculares, esto quiere decir que una persona con un solo ojo es capaz de distinguir distancias en el espacio de forma relativa.¹⁰ Por tanto, es más fácil que si la visión estereoscópica mejora con la terapia, se produzcan más cambios en estos test.

Los pacientes 1, 2 y 4 han presentado una clara mejoría en todos los test de estereopsis, sin embargo, el paciente 1 tuvo que abandonar la terapia antes de cumplir las 4 horas por que presentaba fuertes dolores de cabeza tras jugar 15/20 minutos en la realidad virtual. El resto de los pacientes mejoraron, sobre todo, en el test Ramdon Dot 1s ($p=0,04$) excepto el paciente 6 cuya estereopsis no muestra mejora después de la terapia visual con realidad virtual. En la estereopsis de puntos en visión lejana del programa Optonet, los pacientes 3, 5 y 6 no presentan ninguna mejora. Es más, en la primera visita el paciente 3 fue capaz de interpretar la primera pantalla y en la última no.

4. DISCUSIÓN

Es muy importante que la ambliopía sea diagnosticada y tratada de forma precoz para que tenga mayor probabilidad de éxito tratándola dentro del periodo de mayor plasticidad cerebral porque a mayor edad más difícil será obtener buenos resultados.¹¹ En el sistema público de salud español se realizan revisiones visuales desde pediatría de atención primaria. En edad pre-verbal son revisiones objetivas (test de Bruckner o test Hirschberg), hasta los 3 o 4 años en los que se realiza la primera toma de agudeza visual, aunque en caso de antecedentes o sospecha de alteración visual, aumenta las posibilidades de remitir al oftalmólogo. Pero puede que detectar ambliopía en este momento (3-4 años) no sea el más adecuado teniendo en cuenta el desarrollo visual mostrado en la Figura 1.

El tratamiento convencional de la ambliopía es la oclusión, que fuera del periodo de desarrollo no tiene el mismo resultado que en niños. Existe una evidencia limitada sobre la efectividad de la oclusión en adultos. Un estudio en Japón en 2014 sometió a adultos ambliopes de entre 21 y 67 años a tratamiento de oclusión al menos durante 1 hora al día, para saber si se podía recuperar agudeza visual con el mismo éxito que con niños. Aunque los resultados fueron bastante positivos, ya que algunos de ellos consiguieron mejorar hasta 3 líneas de agudeza logMAR en visión lejana, no fueron tan favorables como ocurre en el caso de los niños, probablemente esto se deba a que se encuentran fuera del periodo de plasticidad cerebral siendo así más difícil que se produzcan cambios en el sistema visual.¹² En otro estudio, adultos ambliopes fueron capaces de mejorar con terapia visual dicóptica, su agudeza visual y/o estereopsis.¹⁴ En este proyecto se realizó una prueba de concepto de terapia visual con realidad virtual para la recuperación de la estereopsis usando una terapia visual dicóptica en adultos ambliopes. Estos dispositivos permiten presentar estímulos diferentes a cada ojo simultáneamente, proporcionando así sensación de profundidad al usuario. Es decir, las gafas de realidad virtual sirven como un sinoptoforo, presentando en cada ojo estímulos de diferente tamaño, contraste y luminancia con el fin de tratar anomalías binoculares.¹⁵ En este estudio se ha disminuido el contraste de la imagen del ojo director para que se iguale la percepción de las imágenes de ambos ojos, de tal forma que permite eliminar la supresión cortical del ojo ambliope trabajando con él de forma binocular en pacientes sin o con baja estereopsis.^{14,15}

Los resultados no fueron los esperados ya que no todos los voluntarios presentaron una mejora en todas las pruebas de estereopsis elegidas para este estudio con este breve tiempo de terapia visual. Esto no quiere decir que la terapia visual en realidad virtual no funcione, ya que se observa mejora en algunos pacientes. Es probable que sean necesarias más horas de terapia visual en algunos casos para alcanzar estar mejora, aunque es posible que haya pacientes que no mejoren ya que la terapia visual no puede generar conexiones neuronales nuevas, sólo reforzar las ya existentes. Las estereopsis (Random dot 1s) y el ratio contraste (medido por el programa Visionary VR) muestran un progreso y una mejora en casi todos los pacientes (5 de los 6 pacientes). Hubiese sido ideal que los pacientes después de las sesiones de terapia hubieran podido

trabajar en casa con el programa de entrenamiento de estereopsis de VisionaryTool, pero ningún paciente aceptó continuar con la terapia, quizás de esta forma podrían haberse encontrado alguna mejora más. Es necesario llevar a cabo un estudio más exhaustivo para investigar cual sería el tipo de paciente que va a mejorar y comprobar que esta mejora se prolongue en el tiempo, añadiendo, si es necesario, terapia para casa con material complementario.

Existe un estudio similar a este, como el realizado en 2017 por Peter Žiak y colaboradores,¹⁶ donde se utilizó un entrenamiento visual dicóptico con realidad virtual conocido como OC DK 2 con la versión beta del juego Diplopia Game. En esta terapia había dos juegos, el primero de todos tenía como finalidad atravesar unos anillos con una nave espacial y otro romper bloques. En este juego, la nave espacial solo era visible con el ojo director y los asteroides eran visibles sólo con el ojo ambliope. De esta forma, se trabajó con ambos ojos evitando que el paciente pueda realizar la tarea si suprime el ojo ambliope. Se reclutaron 17 adultos ambliopes anisométricos, sin patologías. Realizaron la terapia durante 8 sesiones dos días por semana. Los datos que se recogieron son la estereopsis y la agudeza visual antes y después de la terapia, la mayoría de los pacientes mejoraron hasta 2 líneas logMAR de agudeza visual. La estereopsis fue medida con la prueba de círculos del test Random Dot y la media pasó de 263.3 ± 135.1 segundos de arco a $176,7 \pm 152.4$ segundos de arco después del entrenamiento, aunque este test presente pistas monoculares. Ocho de los pacientes antes de comenzar con la terapia tenían una estereopsis no medible y esto solo ocurrió después del entrenamiento con 2 de ellos. En este estudio se revisó a los pacientes 6 meses después y 8 de ellos mantuvieron una estereoagudeza de 100 segundos de arco y una agudeza visual estable.¹⁶

4.1 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La principal limitación de este estudio es el pequeño tamaño muestral condicionado por el tiempo disponible para llevar a cabo el TFG. Una de las consecuencias de usar realidad virtual son los mareos y el dolor de cabeza, seguramente debidos al movimiento dentro del mundo virtual, aunque son semejantes a los que suele producir la terapia visual tradicional y desaparecen al poco tiempo de acabar el entrenamiento. La paciente 1 tuvo que abandonar la terapia antes de terminar las 4 horas de terapia por fuertes dolores de cabeza después de las sesiones; además, otros de los pacientes al cabo de unos 20 min refieren cansancio o molestias leves, que desaparecían una hora después de terminar la actividad. Las medidas de la estereopsis en un monitor 3D pasivo con la Unidad Bueno Martilla (Optonet) podría ser otra limitación, a pesar de que el brillo y el contraste no se modificó y estaba configurada para este uso, no es posible saber si la ausencia de resultados positivos en las medidas de estereopsis con esta pantalla es porque la escasa mejora de los pacientes o por alguna limitación de la pantalla.

5. CONCLUSIÓN

Se puede concluir poco de este estudio debido al limitado tamaño muestral, pero parece que la terapia dicóptica mediante el aprendizaje perceptivo pueden servir para reforzar la vía visual, aun en pacientes fuera del periodo de plasticidad cerebral, recuperando cierta capacidad estereoscópica en un corto periodo de tiempo con el software de realidad virtual desarrollado por Visionary.

BIBLIOGRAFIA:

1. Levi D.M, Li R.W. Perceptual learning as a potential treatment for amblyopia: A mini- review. Vision Research. 2009; 49: 2535-2549.
2. Maldonado M.J, Pastor J.C. Guiones de oftalmología. Aprendizaje basado en competencias. 2º Edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana de España. 2012. 207-216.
3. Hernández Menéndez E, Sánchez Pavón I. Desarrollo de estereopsis mediante aprendizaje perceptivo en pacientes adultos con alteraciones en el desarrollo del sistema visual de la infancia. Trabajo de fin de grado, Universidad de Valladolid.2020. Extraído de: <https://www.uvadoc.uva.es>.
4. Martín R, Vecilla G. Manual de optometría. 2º Edición. Editorial Médica Panamericana. 2018.169-187.
5. García de Sola R. Anatomía y función de la corteza cerebral humana. Áreas de Brodmann. Unidad de neurocirugía RGS. 2014. Última actualización 21/5/2023.
6. Díaz U, Raimann R, Fariña A. Pesquisa de ambliopía en preescolares del Centro de Salud familiar Bernardo Leighton. Revista chilena de pediatría. 2003; 74: 595-598.
7. Barrera O, Jerez E. Ambliopía. Caracterización clínico-epidemiológica. Hospital Infantil Hermanos Cordové-2016; 23:1028-4816.
8. Lu Z.L, Hua T, Huang C.B, Zhou Y, Doshier B.A. Visual perceptual learning. Neurobiology of Learning and Memory. 2011; 95; 145-151.
9. Rodán A, Marroquín C, García J. An updated review about perceptual learning as a treatment for amblyopia. J Optom. 2022; 15:3-34.
10. Belmonte G.J. Análisis de la estereopsis para cerca en monovisión. Trabajo de fin de grado, Universidad de Murcia. 2010-2011. Extraído de: https://www.um.es/c/document_library/es
11. Negrete García M.A. Ambliopía y plasticidad sensorial. Trabajo de fin de grado, Universidad politécnica de Cataluña. 2020. Extraído de: <https://upcommons.upc.edu/>
12. Fumiko K, Fujii C, Shira Y, Hasebe K, Hamasaki I, Ohtsuki H. Outcome of conventional treatment for adult amblyopia. Japanese Journal of Ophthalmology. 2014; 58:26-32.
13. Levi D.M. Perceptual learning in adults with amblyopia: a reevaluation of critical periods in human vision. Developmental Psychobiology. 2005; 46:222-32.

14. Alzate S, Loaiza G, Pedraza L, Flórez S. Beneficios de la realidad virtual en terapia visual para ambliopía. Trabajo de fin de grado, Universidad Antonio Nariño. 2010. Extraído de: <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/>
15. Levi D.M. Applications and implications for extended reality to improve binocular vision and stereopsis. *Journal of Vision*. 2023; 23:14.
16. Žiak P, Holm A, Halička J, Mojžiš P, Piñero D. Amblyopia treatment of adults with dichoptic training using the virtual reality oculus rift head mounted display: preliminary results. *BMC Ophthalmol*. 2017; 17:105.

ANEXO I

HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE

Efectos del aprendizaje perceptivo mediante ejercicios binoculares en voluntarios con baja estereopsis

INTRODUCCIÓN

Ver implica muchas más cosas que reconocer las formas que se nos presentan delante de los ojos. Todos hemos hecho una prueba de agudeza visual, donde se nos pide reconocer letras – optotipos – de un tamaño cada vez más pequeño. Aún sin síntomas, algunas funciones visuales están más desarrolladas en unas personas que en otras.

¿QUÉ ES Y QUIÉN PARTICIPA?

Es un estudio donde queremos registrar los efectos sobre las habilidades visuales de un video juego de realidad virtual. Para eso reclutamos voluntarios con visión normal (que no han manifestado ningún síntoma ni muestran patología asociada a la visión) pero que a la vez tienen baja estereopsis (la habilidad de percibir en 3D). El videojuego que van a utilizar ha sido diseñado para el tratamiento de la ambliopía (ojo vago) y está clasificado como producto sanitario clase I, sin riesgos para la salud. Los datos anónimos recabados en las evaluaciones visuales, así como en el desempeño con el programa, serán analizados por un equipo investigador multidisciplinar en el que participan Optometristas e Ingenieros, pertenecientes a la Universidad de Oviedo, la Universidad de Granada y la Universidad de Valladolid.

¿CUÁL ES EL OBJETIVO?

Determinar si esta actividad repercute en cambios del sistema visual de los participantes, como mejoras de la agudeza visual, rangos vergenciales y estereopsis.

¿QUÉ PERSONAS PUEDEN PARTICIPAR?

Todos los voluntarios sin sintomatología visual en los que no se detecte en la evaluación optométrica patología visual ni ambliopía. Tampoco voluntarios con retraso mental o daño cognitivo.

¿EN QUÉ CONSISTE LA ACTIVIDAD?

Realizaremos a los voluntarios un examen visual completo inicial, intermedio y final. Realizaremos 4- 5 sesiones de terapia semanales durante 8 semanas. Las dos primeras semanas, los ejercicios se realizarán en un laboratorio de la Universidad, en sesiones de 30 minutos. Realizaremos entonces el examen intermedio y, si la evolución es buena, comenzaremos un entrenamiento ya en casa, sobre ordenador personal, con sesiones de 20 minutos, durante otras 6 semanas.

¿QUÉ IMPLICA LA PARTICIPACIÓN?

La persona únicamente autoriza al tratamiento anónimo de sus datos clínicos para realizar un estudio estadístico. La participación en el estudio no supondrá ningún gasto ni esfuerzo adicional.

¿CÓMO SE TRATARÁN LOS DATOS?

Los datos serán codificados para preservar el anonimato. También se almacenarán en un servidor remoto, para lo que se te entregará un documento de autorización de cesión de datos de carácter personal. Como contempla la Ley de Protección de Datos de Carácter Personal,

podrá ejercer su derecho a acceder, rectificar o cancelar sus datos contactando con los investigadores de este estudio.

¿EXISTE ALGÚN RIESGO PARA MI SALUD SI REALIZO LA ACTIVIDAD? No, más allá de la fatiga visual habitual debida al uso continuado de pantallas, que se podría manifestar en casos extremos como picor, lagrimeo, sequedad o enrojecimiento en los ojos. En caso de observar algunos de estos efectos, comunícalo inmediatamente al responsable de la prueba para interrumpirla y que él valore tu estado.

¿PODEMOS ABANDONAR LA ACTIVIDAD? Sí, pueden abandonarla en cualquier momento, sin tener que dar ninguna explicación. Si el promotor o investigador principal del estudio lo considera oportuno, podría excluirte o interrumpir el estudio, bien por motivos de seguridad, por que aparezcan acontecimientos adversos o porque considere que no se está cumpliendo el procedimiento establecido. Cualquier nueva información sobre la aplicación que pueda afectar a su disposición para participar en el estudio le será comunicada de inmediato y usted podrá revocar su consentimiento informado a la luz de la nueva información suministrada

¿QUÉ BENEFICIOS SE OBTIENEN?

Gracias a su colaboración, el estudio contribuirá a incrementar el conocimiento sobre el funcionamiento del sistema y los déficits visuales. Tras la realización de la prueba y finalización del estudio, a aquellos que lo indiquen, se les enviará un documento con los resultados obtenidos.

En caso de necesitar alguna aclaración contactar con: Dr Santiago Martín
González martinsantiago@uniovi.es
Investigador Principal

ANEXO II

CONSENTIMIENTO INFORMADO POR ESCRITO DEL PACIENTE

"Efectos del aprendizaje perceptivo mediante ejercicios binoculares en voluntarios con baja estereopsis" INVESTIGADOR PRINCIPAL: Dr. Santiago Martín González

Yo (nombre y apellidos): _____

- He leído la hoja de información que se me ha entregado
- He podido hacer preguntas sobre el estudio
- He hablado con (nombre del investigador) _____
- Comprendo que mi participación es voluntaria
- Comprendo que puedo retirarme del estudio:
 - Cuando quiera
 - Sin tener que dar explicaciones
 - Sin que esto repercuta en mis cuidados médicos

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio y doy mi consentimiento para el acceso y utilización de mis datos en las condiciones detalladas en la hoja de información.

_____	_____
Firma del participante	Firma del investigador
Fecha: __/__/__	Fecha: __/__/__
(firma y fecha de puño y letra por el paciente) (firma y fecha de puño y letra por el médico)	

FORMULARIO DE REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO INFORMADO	
Yo, Don/Doña _____ con DNI _____ por la presente, revoco mi consentimiento a participar en el estudio titulado: "Efectos del aprendizaje perceptivo mediante ejercicios binoculares en voluntarios con baja estereopsis"	
_____	_____
Firma del participante	Firma del investigador
Fecha: __/__/__	Fecha: __/__/__
firma y fecha de puño y letra	firma y fecha de puño y letra