



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
Facultad de Psicología

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



FACULTAD DE PSICOLOGÍA



Trabajo Fin de Grado en Psicología

Convocatoria de Junio del 2017

**Rehabilitación en pacientes ambliopes a
través de oclusión visual del ojo afectado y
realidad virtual**

**Rehabilitation of amblyopic patients through visual occlusion
of the lazy eye and Virtual Reality**

Autor/a: José María Muñoz Baena

Tutor/a: Francisco Antonio Nieto Escámez

Resumen

La ambliopía es una alteración del desarrollo del sistema visual, particularmente a nivel de la corteza visual. El tratamiento habitual consiste en la oclusión del "ojo sano" para promover el entrenamiento del ojo ambliope. La presente investigación pretende utilizar un procedimiento de aprendizaje perceptual mediante videojuegos de Realidad Virtual en pacientes adultos. Como estrategia para potenciar la plasticidad de la vía ambliope se ocluirá este ojo antes del entrenamiento con el videojuego. La función visual del paciente se evaluará antes, durante y después del tratamiento mediante procedimientos oftalmológicos habituales y una aplicación informática para medir la supresión del ojo ambliope.

Palabras clave: Ambliopía; Rehabilitación; Videojuego; Parche

Abstract

Amblyopia is a developmental disorder of the visual system, particularly of the visual cortex. The usual treatment consists on the "health eye" occlusion to promote the training of the amblyopic eye. This research aims to use a perceptual learning procedure through Virtual Reality videogames in adult patients. As a strategy to potentiate the plasticity of the amblyopic pathway, this eye will be occluded before the training with the videogame. The patient's visual function will be assessed before, during and after the treatment through usual ophthalmological procedures and a software to measure amblyopic eye suppression.

Key words: Amblyopia; Rehabilitation; Videogame; Patching

Índice

1. Introducción.....	5
1.1. Definición	5
1.2. Etiología.....	5
1.3. Plasticidad neuronal y bases neuronales de la ambliopía	6
2. Tipos de ambliopía	7
2.1. Estrábica.....	7
2.2. Anisométrica	7
2.3. Privación-obstrucción	7
3. Características.....	8
3.1. Supresión interocular	8
3.2. Agudeza visual.....	8
3.3. Sensibilidad al contraste	9
3.4. Estereopsis	9
4. Tratamiento.....	9
4.1. Tratamiento pasivo	10
4.2. Tratamiento activo	11
5. Técnicas innovadoras	12
5.1. Aprendizaje perceptual	12
5.2. Uso de videojuegos	13
5.3. Estimulación magnética transcraneal.....	14
5.4. Estimulación transcraneal repetitiva	14
5.5. Oclusión del ojo ambliope	15
6. Hipótesis y objetivo de trabajo	15
7. Método.....	16
7.1. Participantes	16

7.2. Materiales.....	16
7.2.1 Materiales de laboratorio.....	16
7.2.2. Materiales oftalmológicos	17
7.3. Diseño experimental y análisis de datos	19
7.4. Procedimiento	20
8. Resultados.....	21
8.1. Evolución en AV	22
8.2. Evolución en Supresión Interocular.....	23
9. Discusión	24
9.1. Conclusiones.....	25
9.2. Limitaciones.....	25
10. Bibliografía.....	27
Anexo 1. Material de laboratorio.....	31
Anexo 2. Materiales oftalmológicos.....	33
Anexo 3. Consentimiento informado	35
Anexo 4. Ficha de seguimiento	36

1. Introducción

1.1. Definición

La ambliopía, popularmente conocida como “ojo vago”, es un trastorno de la visión que afecta alrededor de un 3% de la población (Thompson, Woodruff, Hiscox, Strong & Minshull, 1991). Ha ido teniendo diferentes definiciones, algunos autores definieron la ambliopía como “una reducción de la mejor corrección de la agudeza visual con ausencia de anomalías orgánicas en el ojo” (Robaei, Rose, Ojaimi, Kifley, Martin & Mitchell, 2006). En un principio se pensaba que la ambliopía era un fallo monocular, donde por el ojo ambliope no entraba información visual con suficiente calidad, afectando a la calidad de la visión binocular. En diversos estudios a lo largo de los años, se ha visto que no es así. Se ha demostrado que la ambliopía es un fallo binocular a nivel de corteza visual, y que es un trastorno que ocurre en los primeros estadios del neurodesarrollo. Una definición más moderna y exacta sería: “la ambliopía es un trastorno del neurodesarrollo de la visión que ocurre cuando la corteza visual recibe inputs incongruentes de cada ojo durante la infancia” (Spiegel, Byblow, Hess, & Thompson, 2013).

A la ambliopía se asocian diversos problemas visuales, por ello la definición, que a mi parecer es la más exacta es: “la ambliopía es una degradación de la visión en un ojo sin causas ópticas o retinianas conocidas, es una alteración del desarrollo causado por experiencias visuales anormales tempranas, específicamente, una falta de concordancia entre las imágenes en los dos ojos, más comúnmente debido a un estrabismo no corregido, anisometría o cataratas inducidas por privación” (Huang, Zhou, Lu & Zhou, 2011).

1.2. Etiología

Diversos estudios demuestran que los déficits monoculares y binoculares están asociados con una supresión activa de los inputs del ojo ambliope dentro de la corteza visual (Hess, Thompson & Baker, 2014; Spiegel et al 2013a; Maehara, Thompson, Mansouri, Farivar & Hess, 2011). La supresión activa o inhibición de la función neural, está relacionada con el circuito GABAérgico. El ácido gamma-aminobutírico (GABA) es el neurotransmisor considerado como el “inhibidor por excelencia”. Es un ácido sintetizado a partir del ácido glutámico, cuya distribución se encuentra por todo el encéfalo y médula espinal. Sin la inhibición que este neurotransmisor produce, el encéfalo

sería inestable, las neuronas se activarían incontroladamente y daría lugar a problemas nerviosos, como podría ser el de la *epilepsia* (Carlson, 2005). Por ello la inhibición es necesaria, el problema es cuando es descompensada, como en el caso de la ambliopía. En la ambliopía hay un desnivel en la supresión. El ojo sano suprime la actividad del ojo ambliope dejándola casi nula, o completamente nula en algunos casos más profundos. Este incremento en supresión (por la acción de GABA) puede ser responsable de la reducción detectada en las neuronas conductoras en el área V1 (Joly & Frankó, 2014).

1.3. Plasticidad neuronal y bases neuronales de la ambliopía

La plasticidad sináptica es la capacidad de cambio entre conexiones sinápticas, fortaleciendo o debilitando dichas conexiones, o modulando la efectividad comunicativa que entre las sinapsis se produce (Deveau, Lovcik, & Seitz, 2013).

En principio se pensaba que la plasticidad de los sistemas sensoriales era algo exclusivo del desarrollo temprano. Con el término “periodo crítico”, se hacía referencia al momento, a través del cual, había unos procesos que se desarrollaban en edades tempranas, y que, acabado este periodo, dichos procesos no se desarrollarían o que se habrían desarrollado en menor grado. Se ha demostrado que eso no es así, un cerebro adulto sigue teniendo, aunque en menor grado, las propiedades plásticas del cerebro en edades tempranas. Hay datos de que a través de un parcheado del ojo ambliope de 150 minutos la plasticidad en cerebros adultos cambia (Lunghi, Burr, & Morone, 2011).

En la ambliopía hay que centrarse en una zona cortical en concreto, la corteza visual primaria o área 17 de Brodmann, formada principalmente por el área V1. La importancia de esta área radica en que ahí se encuentran las *columnas de dominancia ocular*. Al cuerpo geniculado lateral (NGL) llegan los axones del ojo derecho y del ojo izquierdo, separándose en dos sistemas paralelos, llamados *columnas de dominancia*. En la ambliopía, estas columnas están descompensadas, dominando con mucha diferencia la del ojo sano frente al ojo ambliope. Otras áreas implicadas en la ambliopía son las correspondientes a la *corteza visual extriada*. Las áreas de alrededor de la V1, conocidas como áreas visuales secundarias, serían la V2, V3, V4, etc. Diversos estudios, sobre la implicación del área V2 (Bi, Zhang, Harwerth, Smith & Chino, 2011), o sobre la implicación del área V3 y MT (Chen, Cai, Zhou, Thompson, & Fang, 2016), demuestran

la implicación de estas áreas, demostrando que en la ambliopía no hay un sólo problema a nivel primario, sino que se extiende más allá a nivel de procesamiento de la información visual. La ambliopía afecta a diferentes aspectos de la visión, que más adelante comentaré, pero diversos estudios han demostrado que a través de diversas técnicas (parcheado, aprendizaje perceptual...) las zonas corticales implicadas se alteran para conseguir una mejor visión (Astle, McGraw & Webb, 2012).

2. Tipos de ambliopía

Atendiendo a la etiología, existen tres principales tipos de ambliopía: estrábica, anisométrica y de privación-obstrucción.

2.1. Estrábica

Este tipo de ambliopía está asociada con el problema de supresión que ocasiona el desequilibrio de las columnas de dominancia. Se produce una supresión del ojo ambliope afectando a la visión monocular que termina produciendo un problema monocular. Las conexiones binoculares corticales fallan por el estrabismo que puede llevar al desarrollo de la preferencia de fijación de un ojo (Joly & Frankó, 2014).

2.2. Anisométrica

La ambliopía anisométrica está causada por diferencias significativas en el poder refractario de la correcta alineación de los dos ojos (Huang, Zhou, Lu, Feng, & Zhou, 2009). El cerebro presenta una dificultad para fusionar dos imágenes diferentes en tamaño y nitidez.

2.3. Privación-obstrucción

Cabe destacar que hay que diferenciar la ambliopía por privación de la ambliopía orgánica causada por anomalías estructurales del ojo o del cerebro. La ambliopía por privación-obstrucción se relaciona con una imposibilidad de percibir imágenes nítidas en la retina durante el periodo crítico sensible tras el nacimiento. Este impedimento ocurre por obstrucciones como cataratas, leucomas o blefaroptosis (obstrucción del eje visual).

3. Características

3.1. Supresión interocular

La supresión es un fenómeno visual bien descrito, que es caracterizado por una variación perceptual cuando a cada uno de los ojos se le presenta una imagen diferente (Blake 2001; Leonards & Sireteanu, 1993). Diversos estudios sugieren que la ambliopía es en esencia un problema binocular y que su tratamiento debe orientarse a promover la cooperación de ambos ojos y a reducir la supresión (Díaz, Fernández & Díaz, 2015).

Como comenté anteriormente, la supresión es un punto clave. La neuroplasticidad presente en la ambliopía, implica al sistema GABA y las estructuras visuales primarias y secundarias. Hasta ahora, el tratamiento de la ambliopía se basaba en pacientes de edad temprana, pero son numerosos los estudios que tratan de encontrar las mejores herramientas para tratar las diversas anomalías visuales presentes en la ambliopía, convirtiendo a esta enfermedad visual en una rica fuente de conocimiento, especialmente, de conocimiento sobre la plasticidad neuronal y de la supresión activa.

3.2. Agudeza visual

La agudeza visual (AV) se define como “la capacidad del sistema de visión para percibir, detectar o identificar objetos espaciales en condiciones de iluminación adecuadas” (Sánchez, Rivadeneyra-Espinoza & Gonzalez, 2016). El sistema visual es capaz de diferenciar dos puntos próximos entre sí, los cuales tienen una separación determinada por un ángulo. Para dar un valor a la AV, se usa un valor matemático, el cual se define como: la AV en valor decimal se define como la inversa del ángulo α expresado en minutos de arco* ($AV=1/\alpha$). El ángulo α se conoce como MAR (ángulo mínimo de resolución, acrónimo del inglés *minimum angle of resolution*) (García Aguado et al, 2016). En la práctica el valor más utilizado es el logaritmo decimal (LogMAR), y será el valor que se utilice para indicar la AV.

En ambliopía se produce una disminución de la AV, hay diversos métodos utilizados para medir la AV, algunos de los más utilizados son: el test de Snellen, los paneles ETDRS, símbolos Lea, HTOV y E volteada, test de Wecker o el de Landolt.

Según el valor de AV encontramos ambliopía: severa ($AV < 0,1$), moderada (AV de $0,1$ a $0,5$) y leve ($AV > 0,5$).

3.3. Sensibilidad al contraste

La sensibilidad al contraste puede definirse como “la capacidad de distinguir el límite entre dos objetos adyacentes” (Lanzagorta-Aresti, Palacios-Pozo, Taboada-Esteve, Hurtado & Menezo, 2005).

Encontramos diferentes grados de reducción de la sensibilidad al contraste asociados a la ambliopía.

3.4. Estereopsis

Cuando se observa una imagen, hay diferentes detalles que a nivel retiniano se fusionan para integrar la sensación de profundidad (Oporto & Lazarte, 2016). Un cerebro ambliope es incapaz de conseguir la información de la profundidad de las imágenes a través de la disparidad binocular. El déficit severo de estereopsis se asocia a ambliopías estrábicas (Stewart, Wallace, Stephens, Fielder, & Moseley, 2013).

4. Tratamiento

Cuando hacemos referencia a un tratamiento para pacientes ambliopes, a nivel estandarizado, hay que hacer referencia de que este tipo de tratamientos sólo se emplea en niños. Los tratamientos van enfocados a conseguir que aumente el uso del ojo ambliope, consiguiendo mejorar los diversos déficits visuales que el paciente puede presentar, principalmente centrándose en la mejora de la agudeza visual, como baluarte del tratamiento.

El tratamiento más común y precoz en ambliopía es el *tratamiento oclusivo*, aunque también podemos encontrar penalización óptica o tratamientos farmacológicos. El objetivo principal debe ser detectar lo más rápidamente posible la ambliopía, detectarla en el “periodo crítico” a fin de evitar el desarrollo de alteraciones neurocorticales secundarias a la persistencia de un estímulo anómalo.

4.1. Tratamiento pasivo

El tratamiento pasivo consiste en la oclusión del ojo mediante parcheado, penalización óptica o farmacológica. La oclusión puede extenderse durante un periodo variable. Este tipo de tratamiento es común en edades tempranas. Desde 1960 diferentes investigadores han aportado evidencias de la plasticidad neuronal en modelos animales (LeVay, Wiesel & Hubel, 1980; Wiesel & Hubel, 1963). Hay evidencias de que la privación monocular en edades tempranas reorganiza las columnas de dominancia del córtex visual (Suttle, 2010), por lo tanto, el tratamiento pasivo puede ser eficaz si se usa en edades tempranas. Entre los tratamientos oclusivos encontramos:

- Parche adherido a la piel. Este tratamiento se lleva practicando desde hace mucho tiempo y parece ser efectivo, aumentando las horas al día de oclusión, se ha demostrado que aumenta la velocidad de recuperación. Lo normal es ocluir de 2 a 6 horas diarias para ambliopías moderadas, tan solo en caso más profundos se procede a una oclusión de 24 horas seguidas. El parcheado presenta un problema, y es el riesgo de ambliopía iatrogénica en el ojo sano. El parcheado en adultos resulta difícil por diversos factores, como la comodidad (los adultos tienen trabajo, tienen que estudiar durante más horas, tienen que conducir...) o el estigma social.
- Gafas de cristal líquido polarizado. Estas gafas permiten ocluir el ojo de forma intermitente y automática. Están diseñadas para ambliopías leves y moderadas. Entre las ventajas que presentan, está el tema estético y social, el paciente no se da cuenta de la oclusión y está demostrado en un estudio piloto que en la ambliopía unilateral ocluyendo 5 horas diarias durante 9 meses, la AV y la estereopsis mejoran significativamente. Entre los inconvenientes de las gafas, destacan su alto coste y que el tiempo de oclusión no se pueda ajustar.
- Lentes de contacto protésicas oclusivas (LCPO). A diferencia del parche, estas lentes no se perciben a simple vista, evitando problemas sociales. En un estudio se demostró que estas lentes producen una mejoría de AV frente al parche convencional, observando un aumento de la AV superior a 0,5

incluso en niños ambliopes de más de 8 años (Anderson, Brown, Mathews & Mathews, 2006).

- Penalización ocular. Consiste en reducir la AV del ojo dominante, óptica o farmacológicamente, con el fin de impedir selectivamente la visión de lejos, de cerca o ambas, favoreciendo la recuperación del ojo ambliope. Una forma es mediante la *atropina* en colirio, la cual provoca que se paralice la acomodación del ojo no ambliope.
- Tratamiento farmacológico sistémico. Para este tratamiento se utilizan dos fármacos principales: la *levodopa*, que es un precursor de la dopamina que aumenta la inhibición de la señal nerviosa; y la *citicolina*, que tiene un efecto modulador del reciclado de las catecolaminas y la serotonina.

4.2. Tratamiento activo

Diversos estudios han mostrado que el tratamiento oclusivo produce mejoras visuales en pacientes cuyo rango de edad esta fuera del considerado “periodo crítico”. Sin embargo, en la mayoría de estudios, el tratamiento para la ambliopía no se queda solo en el tratamiento pasivo oclusivo clásico, si no que va más allá, utilizándose también un tratamiento activo (Astle et al., 2012).

En la actualidad, diversos tratamientos activos son estudiados de forma experimental para mejorar los déficits visuales de la ambliopía. Hay multitud de métodos y de herramientas, como por ejemplo rellenar puzles, realizar dibujos o colorear por partes siguiendo un patrón (Suttle, 2010).

En el mundo actual, diversos tratamientos se han actualizado a las demandas digitales. Las pruebas basadas en test computarizados están a la orden de las investigaciones más recientes, estudios basados en el uso de videojuegos, de aprendizaje perceptual con ordenador, el uso de test generadores de estímulos o de fototerapia, son tratamientos activos más modernos, y pese a ser todavía objeto de tratamientos experimentales, muestran resultados muy favorables para la consolidación de un tratamiento estandarizado para la ambliopía en pacientes adultos.

5. Técnicas innovadoras

Hay multitud de estudios que buscan formas nuevas de tratar la ambliopía en adultos. Son muchos los datos que demuestran que fuera de los “periodos críticos” se sigue produciendo modela neural, hay resultados que prueban la existencia de una plasticidad neuronal residual en el sistema visual en adultos con ambliopía, apoyando la recuperación de la pérdida visual que estos pacientes sufren, una vez su campo visual ha madurado (Astle et al., 2012).

Entre las técnicas actuales que están en un continuo estudio experimental voy a hacer mención principal a: el aprendizaje perceptual, el uso de videojuegos y la estimulación magnética transcraneal.

5.1. Aprendizaje perceptual

A través de este tratamiento activo, se consigue una mejora en la realización de tareas sensoriales a través de la práctica o de la experiencia. De esta forma se obliga a que el córtex visual responda mediante cambios neuronales, consiguiendo modificaciones sinápticas (Chen et al., 2016) incrementando la eficacia en las sinapsis en la V1 de forma paralela a la terapia.

El aprendizaje perceptual es un tratamiento no invasivo que se basa en programas informáticos específicos para el paciente, donde todas las herramientas interactivas se basan en la estimulación visual. Con este aprendizaje se consigue la facilitación de conexiones neurales a nivel cortical (Yalcin & Balci, 2014).

El aprendizaje perceptual se basa en dos principios básicos: atención y refuerzo

-Atención: se refiere al conjunto de procesos mentales fundamentales para la modulación del procesamiento de información relevante sobre la irrelevante. Gracias a la atención se toman decisiones, que guían a los procesos de memoria y a nuestras funciones ejecutivas (como la memoria de trabajo y planificación) directamente a los recursos necesarios (Deveau et al., 2013).

-Refuerzo: se ha demostrado la importancia del refuerzo (recompensa, castigo, motivación, etc.) en los procesos de aprendizaje perceptual. En una investigación se

presentó la concepción de un modelo de aprendizaje perceptual donde los resultados son consecuencia de la interacción entre las señales difusas y los estímulos presentados a través de un procesamiento de “abajo-arriba”. De esta forma se conseguiría que el paciente vaya aprendiendo a entender el entorno de la imagen a través de un refuerzo de forma que la percepción adquiere un carácter activo (Seitz, Watanabe, & Trends, 2005).

Multitud de estudios prueban la eficacia del tratamiento para la ambliopía a través del uso del aprendizaje perceptual y la oclusión visual. En un estudio se combinó el parcheado Gabor con el aprendizaje perceptual para reducir el ruido de la actividad de las células independientes, a través de incrementar la fuerza de la señal y de la readaptación del córtex a una mayor sensibilidad de contraste y de agudeza visual (AV) (Yalcin & Balci, 2014). Los resultados obtenidos por Yalcin, apoyan la eficacia del aprendizaje perceptual para la mejoría de la AV y de la sensibilidad de contraste.

5.2. Uso de videojuegos

En la última década se ha producido un fuerte avance en el desarrollo de videojuegos y de tecnología de realidad virtual. La Ingeniería es una ciencia que avanza a un ritmo vertiginoso, y diferentes industrias han ido avanzando de forma paralela con el avance de este sector. La Ingeniería Biomédica sería la disciplina ligada a las ciencias médicas y psicológicas, esta disciplina se encarga de aplicar el análisis y las técnicas tradicionales de la Ingeniería y de las Ciencias que analizan, de forma más exacta, los fenómenos en el campo de la medicina para el diseño y desarrollo de dispositivos, métodos y algoritmos (Martino, Díaz, & Madrigal, 2013)

Las terapias experimentales para tratar la ambliopía no se han quedado atrás, y la incorporación de videojuegos para la mejora de déficits visuales ha supuesto un nuevo foco de actuación (Foss, 2017).

Un fenómeno muy importante, es el fenómeno “crowding”. “Crowed” significa abarrotado, y el fenómeno “crowding” se refiere a que la observación necesaria para leer una carta (o reconocer un objeto) es más sencilla cuando se presenta de forma individual que presentada en grupo (Foss, 2017).

Pero como todo, el uso de videojuegos puede presentar algunos riesgos a tener en cuenta. Estos riesgos son dos:

-Adicción: se sabe que los videojuegos pueden crear adicción, aunque no hay razones para pensar que los pacientes ambliopes tengan mayor vulnerabilidad a sufrir una adicción que el resto de la población (Foss, 2017).

-Visión doble: es una complicación potencial, donde ambos ojos ven bien pero no son capaces de fusionar sus imágenes. Una explicación de la ambliopía es que el ojo ambliope está activamente suprimido para evitar la visión doble. Por lo tanto, con las técnicas de antisupresión es inevitable que se dé este riesgo. Dicho riesgo es más probable en adultos, ya que la habilidad de suprimir se reduce con la edad, aunque no se han reportado casos de adultos con visión doble (Foss, 2017).

5.3. Estimulación magnética transcraneal

“La estimulación magnética transcraneal (EMT) es una técnica neurofisiológica que permite la inducción, de forma seguro y no invasiva, de una corriente en el cerebro” (Pascual-Leone & Tormos-Muñoz, 2008).

Referente a la ambliopía, la EMT puede inducir un “disparo” neuronal en el córtex visual. Este disparo, puede ser producido por la producción de un fosfeno, que es una percepción visual que no es debida por la entrada de luz por el ojo (Spiegel, 2013a). El fosfenismo es un fenómeno en el que una persona percibe unas manchas visuales durante un periodo breve de tiempo, unos segundos.

5.4. Estimulación transcraneal repetitiva

La estimulación magnética transcraneal repetitiva (EMTr), en inglés *transcranial direct current stimulation (tDCS)*, de forma no invasiva, sirve para aplicar impulsos electromagnéticos que activan o modifican el funcionamiento de las neuronas.

Es crucial para esta técnica la posición de los electrodos, ya que afectará de forma directa la estimulación que se pretende conseguir. La posición se define a través del uso del sistema internacional 10-20 EEG (Chatrian, Lettich, & Nelson, 1985).

Para el tratamiento en ambliopía hay diversos estudios experimentales que demuestran la eficacia en la mejora de diferentes déficits visuales (Bi, et al., 2011; Spiegel, Li, Hess, Byblow, Deng, Yu, & Thompson, 2013). El objetivo sería potencia la actividad de las áreas visuales para acelerar la recuperación y dominancia del ojo ambliope. En su estudio con monos estrábicos, H. Bi et al. (2011) estudiaron la implicación del Área Visual V2, encontrando mejoras significativas en los grupos que recibieron entrenamiento frente a los del grupo control.

5.5. Oclusión del ojo ambliope

Este es un procedimiento muy útil para inhibir la supresión activa por parte del ojo sano sobre el ojo ambliope. Diversas investigaciones, han mostrado que la oclusión del ojo ambliope durante un periodo breve, puede generar una reducción de la actividad de las áreas visuales (Lunghi, et al., 2011; Williams, Balsor, Beshara, Beson, Josen & Murphy, 2015).

6. Hipótesis y objetivo de trabajo

El objetivo de esta investigación es conseguir mejorar la Agudeza Visual y la Supresión de pacientes ambliopes adultos. Para ello, se ha seguido una intervención la cual combina la oclusión del ojo patológico durante 90 minutos, el entrenamiento en aprendizaje perceptual y la evaluación con una prueba de supresión basada en la presentación de estímulos relevantes junto a estímulos “ruido” que dificultan la percepción.

La hipótesis es que con el tratamiento se conseguirá reequilibrar la visión binocular. Esta hipótesis se basa en el principio de supresión y de plasticidad neuronal fuera del periodo crítico, apoyada en diversos estudios que demuestran la eficacia de tratamientos con aprendizaje perceptual (Deveau et al., 2013; Levi & Li, 2009; Spiegel et al., 2013b) y de la eficacia del uso de parchado en el ojo ambliope (Lunghi et al., 2011; Williams et al., 2015).

7. Método

Para la selección de los pacientes, el criterio de ambliopía se definió como la diferencia en Agudeza Visual de, al menos 0,2 LogMAR, y una agudeza del ojo sano de 0,0 LogMAR (Li et al., 2015).

7.1. Participantes

En un principio se presentaron tres sujetos. Dos de ellos tuvieron que ser descartados por no cumplir el criterio de ambliopía. Tan solo un sujeto fue incluido como sujeto experimental, una mujer de 46 años de edad sin ninguna otra patología ocular, psiquiátrica o vascular que pudiera enmascarar los datos a la hora de las evaluaciones.

7.2. Materiales

7.2.1 Materiales de laboratorio

-PC Asus con Procesador Intel® Core™ i7-2600 (Anexo1)

-Monitor Pavilion 22xi (60Hz) (Anexo1).

-Teclado Logitech K120 (Anexo 1).

-AmbliOK Visual Rehabilitation (Anexo 1): AmbliOK es un programa informático que se basa en un videojuego y una prueba diseñados para el entrenamiento de pacientes ambliopes y la evaluación de la supresión interocular, respectivamente. Este programa, bajo la supervisión del Doctor Francisco Nieto, ha sido desarrollado en NeuroDigital Technologies SL. El videojuego permite la selección del ojo al cual se le presentarán los estímulos a los que el paciente tendrá que prestar atención. El programa AmbliOK se basa en dos pruebas. La primera prueba es el entrenamiento de percepción, el cual se basa en un videojuego (AmbliOK videojuego Anexo 1) donde el paciente tendrá que conseguir salvar una bola y romper diferentes calabazas, es un videojuego basado en el juego arcade clásico *Arkanoid*, 1986 (Anexo 1). La segunda prueba se basa en la tarea de Movimiento Coherente Global. Esta prueba está formada de dos fases: en la Fase 1 (Fase de Movimientos Coherentes), al paciente se le presenta en ambos ojos una serie de puntos, algunos puntos mantienen la misma dirección, siguiendo una dirección coherente, de ahí su nombre (puntos coherentes) y otros puntos presentan un movimiento aleatorio (puntos

de ruido) (Anexo 1). La tarea del paciente consiste en discriminar la dirección de los puntos, teniendo que centrarse en los puntos coherentes. En esta fase, cuando el paciente acierta la dirección de los puntos coherentes 3 veces seguidas, éstos se reducen a la mitad, dificultando la tarea. A partir del primer retroceso, los puntos coherentes se reducen al 25% cada uno. En la Fase 2 (Fase de sensibilidad al contraste), el paciente tiene que discriminar la dirección del movimiento de los puntos coherentes que se le presentan en el ojo ambliope. En esta fase, la lógica que se sigue es la misma, solo que, en lugar de presentar la misma imagen en ambos ojos, al comienzo se presentan solo los puntos coherentes en el ojo patológico al 100% de su contraste y cuando el sujeto acierta 3 veces seguidas, comienzan a aparecer los puntos en el otro ojo con un contraste del 10% hasta el primer retroceso. A partir de este momento cuando el sujeto acierte 3 veces seguidas o falle una, el contraste aumentará o disminuirá, respectivamente, un 5% (Anexo 1). La prueba termina cuando en cada una de las fases se producen seis retrocesos. La puntuación de las fases se obtiene haciendo una media de las repeticiones de cada una de ellas.

El procedimiento psicofísico presente en esta tarea de supresión interocular se denomina “Staircase” o Método de la Escalera. Dicho procedimiento sigue el criterio “3 Down – 1 Up”. Los puntos que se presentan en la tarea varían de acuerdo a las respuestas dadas por el sujeto. El procedimiento termina tras seis retrocesos o “reversals” (al 78% de rendimiento correcto) (Mansouri et al., 2008)

- Oculus Rift DK2 (Anexo 1): a través de estas gafas de realidad virtual se puede entrenar a la paciente, permitiendo la presentación dicotómica eligiendo en qué ojo queremos presentarle los estímulos.

- Parches opacos 3M Opticlude™ (Anexo 1): los parches fueron los elegidos para la oclusión previa al entrenamiento. El parche presenta unas almohadillas de 5.7cmx8.2cm, rodeadas de adhesivo hipoalergénico que permite su adaptabilidad.

7.2.2. Materiales oftalmológicos

-Herramientas oftalmológicas: Establecimiento de la línea base.

- Lámpara de hendidura con Biomicroscopio (Anexo 2): El Galileo convergente binocular tipo SL 990 5X biomicroscopy® con lámpara de hendidura (Essilor SL) se utilizó con el

fin de explorar el segmento anterior y posterior del ojo (párpados, la esclerótica, la conjuntiva, iris, cristalino natural, y la córnea) con una fuente de luz de alta intensidad que puede enfocarse para alumbrar una lámina delgada de luz en el ojo. Se utilizó un instrumento óptico auxiliar (espejo cóncavo 90 dioptrías) para la exploración del fondo del ojo (Zeiss, 2006).

- La tomografía de coherencia óptica (Anexo 2): Una tomografía de coherencia óptica (OCT) se utilizó con el fin de evaluar el estado de la retina en profundidad. La OCT es una técnica de imagen no invasiva que utiliza ondas de luz para tomar fotografías de la sección transversal de la retina, la cartografía y la medición de su espesor. Esta herramienta nos permite una evaluación específica y precisa del estado estructural de la mácula y el nervio óptico (Altaweel et al, 2015; Moreira et al., 2000).

- Autorefractómetro (Anexo 2): El VRK-1900 Autorefractometer® se utilizó con el fin de medir la distancia de la pupila, el diámetro de la pupila, la curvatura de la córnea, la refracción corneal, astigmatismo corneal, ángulo de eje, distancia de vértice y la esfera.

- Test Cover-Uncover (Anexo 2): Se utilizó la prueba de Cover-Uncover con el fin de evaluar la desviación ocular de cada ojo, que se define como los reflejos corneales en ambos ojos cuando el sujeto / paciente fija un estímulo o una fuente de luz de cerca (Ansons y Davis, 2013).

-Herramientas optométricas: Evaluación de Variables

- ETDRS Optotipos Sloan (Anexo 2): Son unas cartas que se presentan sobre una cabina retroiluminada a una distancia de 4 metros y se utilizaron con el fin de evaluar la agudeza visual estática. Esta prueba es considerada como el estándar internacional para la medida de la AV, por su mayor fiabilidad y precisión a la hora de detectar un cambio real en la AV de un paciente, una variación del error refractivo, o alteraciones visuales como la ambliopía (Bailey y Lovie-Kitchin, 2013). Las filas de AV contienen el mismo número de letras (5 letras); se emplean las letras de Sloan, que se caracterizan por tener una dificultad similar; el tamaño de las letras varía en progresión geométrica de fila a fila; el espaciado entre letras y filas es uniforme, garantizando igualdad de interacción de

contornos a todos los niveles de AV (Bailey y Lovie-Kitchin, 2013); además, el cálculo de la AV se realiza letra a letra, con un total de 0,02 puntos en la escala LogMAR por estímulo. Los intercambios entre los gráficos se realizaron entre cada medida de la función del ojo con el fin de evitar los efectos de aprendizaje. El gráfico tiene un límite máximo de rendimiento del -0,3 LogMAR y un límite de "mala visión" de 1,0 LogMAR. Se considera que el sujeto tiene 100% de visión cuando obtiene una puntuación de 0.0 LogMAR, equivalente a 1,0 en la escala decimal. Tasas menores que los valores negativos (-0.3) indica aún mejor AV. La iluminación de la cabina se fijó en criterios estándar de 85 ± 10 c / d m².

-Worth 4 Luces (Anexo 2): Es una herramienta clínica de evaluación que indica de forma cualitativa la función binocular y la rivalidad binocular (supresión), y define la visualización de 4 estímulos dispuestas en forma de rombo: 2 cruces rojas, dispuestas a izquierda y derecha de un punto central; un círculo negro por debajo del centro; y un rombo verde encima.

Una persona con visión normal debe ver las cuatro entradas. Mientras tanto, un paciente con ambliopía con una visión binocular alterada vería dos o tres entradas, señalando qué ojo está suprimido por el otro. La evaluación se realizó a una distancia de 4 metros, la pantalla se coloca a 1,6 metros del suelo, y se muestra en un monitor VLC-L900 (P) (Viewm Technologies®) con una iluminación de 80 cd / m.

7.3. Diseño experimental y análisis de datos

Esta investigación se basa en diseños de caso único AB con registros múltiples de la intervención.

Entre las variables de esta investigación encontraríamos: como variable independiente (VI) sería el efecto que produce la oclusión mediante parcheado del ojo ambliope durante 90 minutos seguidos del entrenamiento con el videojuego; y como variables dependientes (VD) serían la agudeza visual (AV) y la supresión interocular del sujeto.

Los datos se normalizaron restando el rendimiento de la línea base antes del parcheado en todas las medidas únicas visuales de AV y Supresión única con el fin de

describir mejor la evolución de los sujetos, como en estudios anteriores (Zhou, et al., 2013; Spiegel et al., 2013b).

Al tener solo un sujeto experimental, sus datos no pudieron ser evaluados con el programa IBM SPSS Statistics Base 22.0®, ya que no hay posibilidad de comparar sus resultados con otros sujetos en este periodo de investigación.

7.4. Procedimiento

El procedimiento experimental fue desarrollado respetando la Declaración de la Asamblea Médica Mundial sobre los Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos en Helsinki de 1964. El presente experimento fue aprobado por el comité de bioética para la investigación humana de la Universidad de Almería, España. Todas las evaluaciones se hicieron en QVision SL (clínica médica de oftalmología, Almería) por un especialista en la visión (un optometrista).

Todos los sujetos fueron informados acerca del procedimiento, informando sobre la duración de éste y sobre las revisiones periódicas que tenían que seguir, para ello se les mandó por correo electrónico una carta informativa donde quedaba redactado el procedimiento de la investigación. Una vez valorado y admitido en la investigación, el sujeto tuvo que firmar un consentimiento informado para poder participar en la investigación (Anexo 3).

Como paso principal e imprescindible, se tenían que realizar en la clínica asociada las pertinentes evaluaciones oftalmológicas y optométricas, para comprobar que los sujetos cumplían el criterio de inclusión de ambliopía establecido, y que además no presentaban ninguna otra patología ocular. Si se cumplían estos requisitos, el paciente podría comenzar con el entrenamiento experimental, y los datos de la revisión optométrica se tomaban como línea base (LB).

Tras la primera evaluación, el paciente tenía que ir al laboratorio de la Universidad de Almería situado en un despacho del pabellón de Neurociencias. Ahí se desarrollaría su entrenamiento.

La primera toma de contacto con las gafas de realidad virtual, era para medir la distancia interpupilar del sujeto y calibrar la graduación de las gafas para ofrecer la mejor

nitidez a cada sujeto, en este caso, a nuestro único sujeto. Una vez realizado este paso, se procedía a establecer la LB a través de la prueba de supresión interocular de AmbliOK. El establecimiento de la LB consistía en la realización de tres evaluaciones consecutivas de la supresión, con un intervalo de descanso de 3 minutos entre cada evaluación. Cada prueba constaba de dos fases, y tras realizar las tres evaluaciones, se hacía una media de la puntuación obtenida en cada fase. Todo ello se anotaba en una plantilla de seguimiento (Anexo 3).

Una vez finalizado el establecimiento de la LB, se le proporcionaba al sujeto un parche opaco para que el sujeto se ocluyara el ojo ambliope 90 minutos antes del entrenamiento de la siguiente sesión.

En la siguiente sesión, tras retirar el parche oclusivo, se esperaba un minuto hasta empezar el entrenamiento con las gafas para que el ojo se adaptase a las condiciones luminosas normales. Tras la recuperación visual, se procedía al entrenamiento con el videojuego durante un periodo de 30 minutos, los cuales eran cronometrados.

Una vez finalizado el entrenamiento, se le retiraban las gafas a la paciente durante un descanso de 3 minutos para que el sujeto descansase y seguidamente se procedía a la prueba de supresión interocular.

Este entrenamiento consta de 4 fases, marcadas por el tiempo de entrenamiento después del establecimiento de la línea base. Entre fase y fase el sujeto tenía que ir a la clínica asociada -QVisión- para recibir una evaluación, la cual serviría para llevar un seguimiento de la evolución de las VD. Al final, el sujeto debía cumplir un total de 10 horas de entrenamiento.

8. Resultados

Los resultados se recogieron en una ficha de seguimiento (Anexo 4) y fueron aglomerados en una tabla Excel, y agrupados en evolución de la AV y evolución de la supresión interocular.

Hay que mencionar la ausencia de efectos negativos reportados por parte de la paciente.

8.1. Evolución en AV

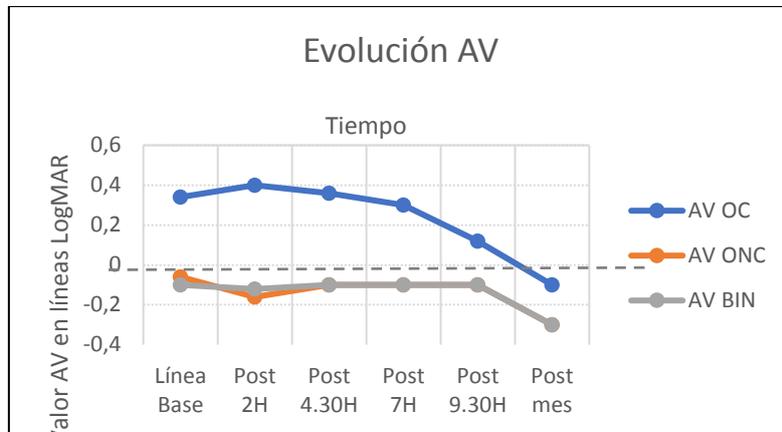


Figura1: Evolución de la agudeza visual del ojo ocluido (AVOC), no ocluido (AVNO) y agudeza binocular (AVBIN) del sujeto, con respecto a su línea base tras 2h; 4.30h; 7h y 9.30h de entrenamiento con el videojuego; y un mes después desde que se acabó el entrenamiento. En esta gráfica cómo la evolución de la AV tiene una tendencia descendente, demostrando la mejoría visual y el efecto positivo de tratamiento.

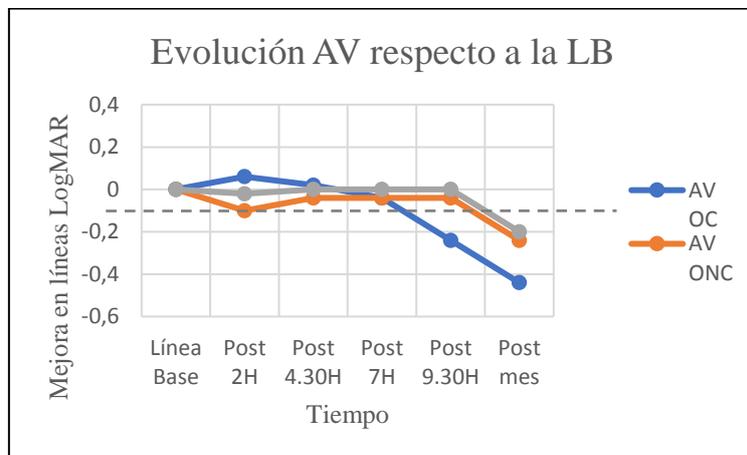


Figura 2: Evolución de la AV respecto a la línea base (LB). Partiendo del valor de la LB como valor “cero”, se fue comparando los cambios de valor en líneas LogMAR de cada revisión post 2H, post 4.30H, post 7H y post 9.30H de entrenamiento. Además, se incluye el valor en AV obtenido un mes después de acabar el entrenamiento. Se puede observar, al igual que en la Figura 1, que la tendencia es descendente respecto a la puntuación obtenida en la LB, demostrando que la mejora visual es significativa.

8.2. Evolución en Supresión Interocular

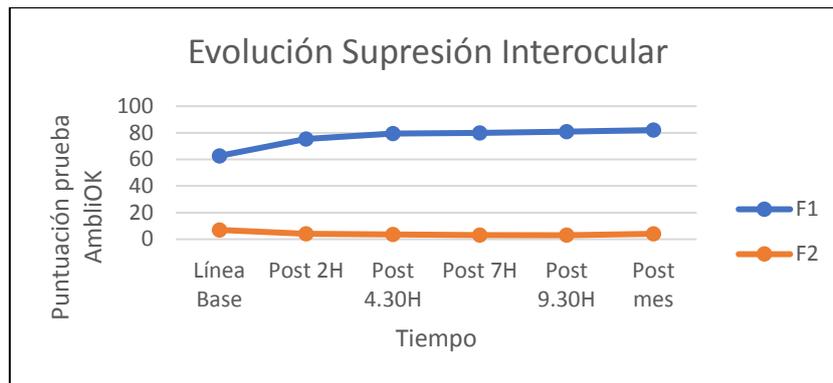


Figura 3: Evolución en puntuación de la prueba AmbliOK de supresión interocular en la Fase 1 (F1) y Fase 2 (F2) de la línea base, tras 2, 4.30, 7 y 9.30 horas de entrenamiento y tras un mes desde que acabó el entrenamiento. La tendencia ascendente de la F1 muestra que el tratamiento está consiguiendo obtener mejores resultados en esta fase, pero la tendencia descendente de la F2 es extraña, ya que según estos resultados la paciente empeora con el tratamiento.

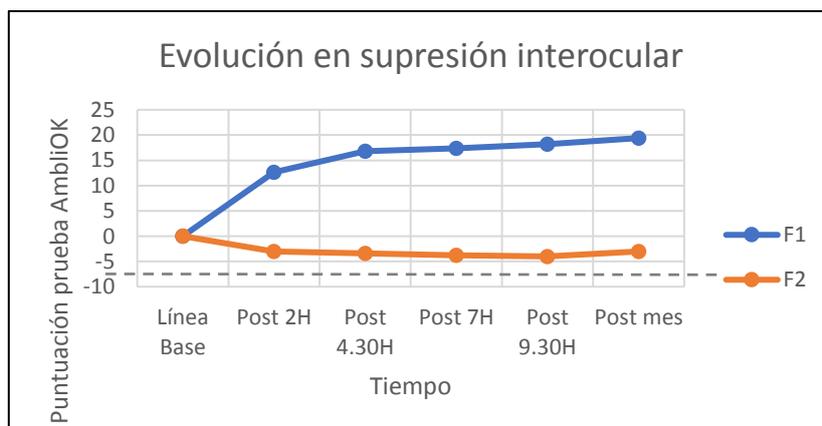


Figura 4: Evolución en la puntuación obtenida en la prueba AmbliOK de supresión, partiendo de la LB como valor "cero", de las puntuaciones post 2, 4.30, 7 y 9.30 horas de entrenamiento, y de la puntuación después de un mes desde que acabó el entrenamiento. Respecto a la LB hay una mejoría notable en la F1, ya que hay una buena tendencia ascendente. Sin embargo, la tendencia negativa de la F2 hace parecer que el tratamiento afecta negativamente.

9. Discusión

Al observar la evolución en AV de la paciente, se observa una notable mejoría. La mejoría es muy significativa, ya que pasa de cumplir el criterio de ambliopía de al menos 0,2 líneas LogMAR, teniendo 0,34 en la primera revisión, a estar por debajo, presentando una agudeza monocular del ojo patológico de -0,1 líneas LogMAR, puntuación típica de un ojo sano.

Hay que hacer mención a la curva de la gráfica (Figura 1 y figura 2). En ambas gráficas la tendencia es descendente, lo que nos indica mejoría, ya que el criterio de líneas LogMAR es inverso, siendo la tendencia a cero, o por debajo de cero, la tendencia de mejora. Cuanto más se aproxime a uno, peor será la agudeza visual, y cuanto más se aproxime a cero mejor será, siendo la puntuación negativa una puntuación típica de un ojo sano.

La evolución de la paciente en AV en el ojo patológico, el ocluido, marca un ligero empeoramiento en la puntuación post 2 horas, aunque la tendencia se vuelve descendente tras dicha evaluación. Hay que destacar también el mantenimiento de la AV binocular y del ojo no ocluido, hay una diferencia de entre 0,1 y 0,04 líneas LogMAR en la AV del ojo no ocluido, y una diferencia de 0,02 y 0 líneas LogMAR entre la puntuación de la línea base y el resto de pruebas has 9.30H de entrenamiento. Sin embargo, cabe destacar la mejoría desde la última revisión del periodo de entrenamiento, hasta la evaluación post mes, donde encontramos una diferencia de 0,24 y 0,2 líneas LogMAR en AV ojo no ocluido y en AV binocular respectivamente.

Respecto a la supresión, destacan las diferentes tendencias de las Fase 1 y Fase 2. En este caso, la tendencia ascendente significa mejora y la tendencia descendente empeoramiento, a diferencia de las tendencias de las gráficas de AV. En las gráficas (Figura 3 y Figura 4) hay una marcada diferencia en puntuaciones. En la Fase 1 se observa una pronunciada mejora, habiendo una diferencia respecto a la línea base de casi 20 puntos en la prueba post mes. Sin embargo, esta diferencia es inversa en la Fase 2. Referente a la puntuación de la línea base, las puntuaciones siguientes están por debajo. Llama la atención como la mayor puntuación de la Fase 2 es la de la línea base, y que con el entrenamiento no se produce mejoría.

9.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos llevan a pensar que el tratamiento experimental es efectivo. La evolución que la paciente ha mostrado en AV es el objetivo deseado en cualquier tratamiento experimental para la ambliopía. Diferentes autores han estudiado el efecto del parcheado del ojo ambliope (Hess, et al., 2014; Lunghi, et al., 2011; Yalcin & Balci, 2013), son muchas las evidencias de la notable mejoría de las funciones visuales con este tratamiento oclusivo, que trata de combatir el desequilibrio de las columnas de dominancia fuera del periodo crítico (Suttle, 2010).

El uso del videojuego, tan estudiado actualmente (Foss, 2017; Knox, Simmers, Gray, & Cleary, 2012) lleva a pensar que esta herramienta ayuda a la mejora en AV. Usar un aprendizaje perceptivo con las gafas de realidad virtual ayuda a potenciar la fijación del ojo patológico en una simple tarea como es el videojuego utilizado. Sin embargo, los resultados obtenidos en supresión interocular, no nos permite establecer una mejoría en este déficit. En la Fase 1 si se produjo una notable mejoría, pero en la Fase 2 se produjo un descenso en la puntuación.

El uso conjunto de parcheado del ojo patológico, entrenamiento perceptivo con videojuego y prueba de supresión, hacen de este tratamiento experimental un tratamiento muy efectivo, tan solo hay que observar que esta paciente pasó de ser ambliope a no cumplir el criterio de ambliopía. Como todo en esta vida, este tratamiento podría mejorarse, y una buena forma de conseguirlo sería incluyendo estimulación magnética transcraneal en el tratamiento. Son diversas las investigaciones que demuestran el efecto positivo en la mejora de déficits visuales (Chen, et al., 2016; Spiegel, et al., 2013a).

9.2. Limitaciones

Como limitación principal sería el reducido número de sujetos experimentales. El criterio de definición para poder participar en la investigación limita mucho la búsqueda de pacientes. Tres sujetos ya eran un número pequeño, pero tener una investigación de caso único hace que el criterio de fiabilidad sea muy cuestionable. Cuanto mayor hubiera sido la muestra, mayor fiabilidad habría tenido la efectividad del tratamiento.

Otra limitación sería el tiempo. Cuando la paciente acabó su periodo de entrenamiento, un sujeto se presentó como paciente experimental, cumplía todos los requisitos, empezó el entrenamiento pero sus datos no han sido incluidos en este trabajo ya que no iba a terminar el entrenamiento antes de tener que entregar este trabajo. Aún así, pensando en este proyecto como un proyecto continuo, este paciente está recibiendo el tratamiento a fin de incluir sus resultados y compararlos con otros pacientes y con la intención de proporcionarle un tratamiento, que hasta ahora ha resultado ser efectivo, teniendo siempre por delante que es experimental.

Referente al entrenamiento, el videojuego se hace muy pesado, según cuentan los sujetos. Es un videojuego muy monótono y el largo periodo de entrenamiento hacen un poco pesada la tarea. Basándose en estudios como el de A. Foss (2017), un incremento del dinamismo del videojuego ayudaría a la atención que el paciente tendría que desarrollar fuera más elevada, y que el mayor número de estímulos a observar harían que el efecto del videojuego fuera mayor a la hora de mejorar la visión dañada del paciente.

Sería interesante incluir una evaluación a largo plazo para ver si la mejora en AV se mantiene en esta paciente. Un cuestionario donde la paciente apuntase cambios en su rutina diaria, ayudarían a mantener un seguimiento sobre cambios que podrían ser de gran utilidad en la investigación.

Pese a todo, resultados como estos hacen que se mantenga y aumente la ilusión por establecer un tratamiento estándar para el tratamiento de la ambliopía. Una patología, hasta ahora “incurable” en personas adultas, está cada vez más cerca de recibir un tratamiento estándar que consiga restaurar el equilibrio binocular. Investigaciones como esta, basada Hess et al., (2014) ayudan de gran manera al aporte de datos muy esperanzadores.

10. Bibliografía

- Balci, O., & Yalcin, E. (2013). Efficacy of perceptual vision therapy in enhancing visual acuity and contrast sensitivity function in adult hypermetropic anisometric amblyopia. *Clinical Ophthalmology*, 49. <http://dx.doi.org/10.2147/oph.s48300>
- Bi, H., Zhang, B., Tao, X., Harwerth, R., Smith, E., & Chino, Y. (2011). Neuronal Responses in Visual Area V2 (V2) of Macaque Monkeys with Strabismic Amblyopia. *Cerebral Cortex*, 21(9), 2033-2045.
<http://dx.doi.org/10.1093/cercor/bhq272>
- Carlson, N. R. (2005). Psicofarmacología. *Fisiología de la conducta* (pp. 104-135). Universidad de Massachusetts Pearson Addison Wesley 8ª. Edición.
- Céspedes Oporto, V. H., & Ortuño Lazarte, P. E. (2016). Desarrollo de test 3D automatizado en la Fundación Boliviana de Oftalmología durante la gestión 2014, para valorar estereopsis. *Gaceta Médica Boliviana*, 39(1), 16-19.
- Chen, N., Cai, P., Zhou, T., Thompson, B., & Fang, F. (2016). Perceptual learning modifies the functional specializations of visual cortical areas. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 113(20), 5724-5729.
<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1524160113>
- Deveau, J., Lovcik, G., & Seitz, A. R. (2013). The therapeutic benefits of perceptual learning. *Curr Trends Neurol*, 7, 39-49.
- Díaz Níñez, Y. J., Fernández Escalona, F., & Díaz Núñez, Y. C. (2015). Cuantificación de la supresión basada en contraste: una técnica cromática para la presentación dicóptica. *Revista Cubana de Informática Médica*, 7(2), 132-143.
- Foss, A. (2017). Use of video games for the treatment of amblyopia. *Current Opinion In Ophthalmology*, 28(3), 276-281. <http://dx.doi.org/10.1097/icu.0000000000000358>
- García Aguado, J., Sánchez Ruiz-Cabello, F. J., Colomer Revuelta, J., Cortés Rico, O., Esparza Olcina, M. J., Galbe Sánchez-Ventura, J., Mengual Gil, J. M., Merino Moína, M., Pallás Alonso, C. R., & Martínez Rubio, A. (2016). Valoración de la agudeza visual. *Rev Pediatr Aten Primaria*, 18, 267-274.

- García Romo, M. (2016). *Evaluación Funcional de la Vía Visual en Adultos Ambliopes mediante los Potenciales Evocados Visuales Multifocales* (Tesis Doctoral). Universidad de Alcalá Facultad de Medicina.
- Hess, R., Thompson, B., & Baker, D. (2014). Binocular vision in amblyopia: structure, suppression and plasticity. *Ophthalmic And Physiological Optics*, 34(2), 146-162. <http://dx.doi.org/10.1111/opo.12123>
- Huang, C., Zhou, J., Lu, Z., & Zhou, Y. (2011). Deficient binocular combination reveals mechanisms of anisometropic amblyopia: Signal attenuation and interocular inhibition. *Journal Of Vision*, 11(6), 4-4. <http://dx.doi.org/10.1167/11.6.4>
- Huang, C., Zhou, J., Lu, Z., Feng, L., & Zhou, Y. (2009). Binocular combination in anisometropic amblyopia. *Journal Of Vision*, 9(3), 17-17. <http://dx.doi.org/10.1167/9.3.17>
- Joly, O., & Frank³, E. (2014). Neuroimaging of amblyopia and binocular vision: a review. *Frontiers In Integrative Neuroscience*, 8. <http://dx.doi.org/10.3389/fnint.2014.00062>
- Lanzagorta-Aresti, A. et al. 2005). Sensibilidad al contraste en las lentes TECNIS Z-9000. *Arch Soc Esp Oftalmol* [online], 80(11), 651-657. ISSN 0365-6691.
- Li, J., Thompson, B., Lam, C., Deng, D., Chan, L., & Maehara, G. et al. (2011). The Role of Suppression in Amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(7), 4169. <http://dx.doi.org/10.1167/iovs.11-7233>
- Lunghi, C., Burr, D., & Morrone, C. (2011). Brief periods of monocular deprivation disrupt ocular balance in human adult visual cortex. *Current Biology*, 21(14), R538-R539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2011.06.004>
- Lunghi, T., Brask, J., Lim, C., Lavigne, Q., Bowles, J., & Martin, A. et al. (2015). Self-Testing Quantum Random Number Generator. *Physical Review Letters*, 114(15). <http://dx.doi.org/10.1103/physrevlett.114.150501>
- Maehara, G., Thompson, B., Mansouri, B., Farivar, R., & Hess, R. (2011). The Perceptual Consequences of Interocular Suppression in Amblyopia. *Investigative*

Ophthalmology & Visual Science, 52(12), 9011. <http://dx.doi.org/10.1167/iovs.11-7748>

Manzano, A. A., & Lamagayo, M. A. (2015). A Comparison of Distance Visual Acuity Testing using a Standard ETDRS Chart and a Tablet Device. *Philippine J Ophthalmol*, 40, 88-92.

Martino, P., Díaz, A., & Madrigal, O. (2013). Videojuego en el Tratamiento de la Discapacidad Visual Ambliopía, un Asunto de Alto Nivel de Integración Social y Apoyo al Proceso Docente Educativo. *V Latin American Congress On Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba*, 920-923.
http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-21198-0_234

Pascual-Leone, A., & Tormos-Muñoz, J.M. (2008). Estimulación magnética transcranial: fundamentos y potenciales de la modulación de redes neurales específicas. *Revista de Neurología*, 46(1), S3-S10.

Spiegel, D. (2013). *Transcranial Direct Current Stimulation of the Healthy and Amblyopic Visual Cortex: Mechanisms and Action* (Doctoral Thesis). The University of Auckland.

Spiegel, D., Byblow, W., Hess, R., & Thompson, B. (2013a). Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Transiently Improves Contrast Sensitivity and Normalizes Visual Cortex Activation in Individuals With Amblyopia. *Neurorehabilitation And Neural Repair*, 27(8), 760-769.
<http://dx.doi.org/10.1177/1545968313491006>

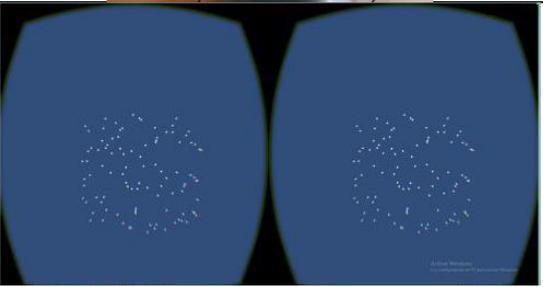
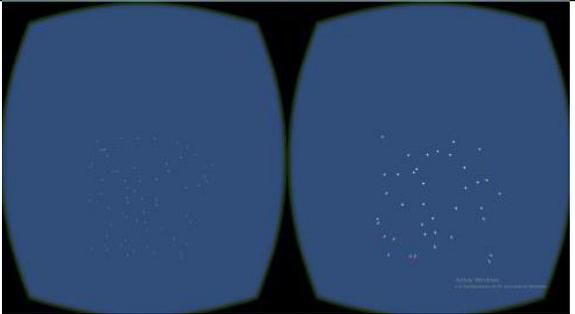
Spiegel, D., Li, J., Hess, R., Byblow, W., Deng, D., Yu, M., & Thompson, B. (2013b). Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Recovery of Stereopsis in Adults With Amblyopia. *Neurotherapeutics*, 10(4), 831-839.
<http://dx.doi.org/10.1007/s13311-013-0200-y>

Suttle, C. (2010). Active treatments for amblyopia: a review of the methods and evidence base. *Clinical And Experimental Optometry*, 93(5), 287-299.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-0938.2010.00486.x>

Zhou, J., Clavagnier, S., & Hess, R. (2013). Short-term monocular deprivation strengthens the patched eye's contribution to binocular combination. *Journal Of Vision*, 13(5), 12-12. <http://dx.doi.org/10.1167/13.5.12>

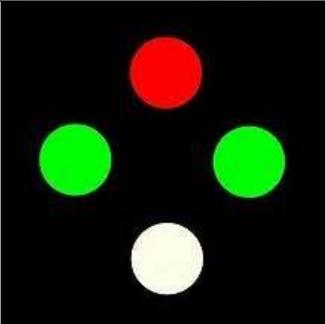
Anexo 1. Material de laboratorio

<p>Pc con Procesador Intel® Core™ i7-2600</p>	
<p>Monitor Pavilion 22xi (60Hz)</p>	
<p>Teclado Logitech K120</p>	
<p>Oculus Rift DK2</p>	
<p>Parches opacos 3M Opticlude™</p>	

<p>Prueba ambliOK</p>	
<p>Prueba AmbliOK-videojuego niveles</p>	
<p>Prueba AmbliOK-videojuego</p>	
<p>Prueba AmbliOK-Fase 1</p>	
<p>Prueba AmbliOK-Fase 2</p>	

Anexo 2. Materiales oftalmológicos

<p>Lámpara de hendidura con Biomicroscopio tipo SL 990 5X biomicroscopy® (Essilor SL)</p>	
<p>Tomografía de coherencia óptica (OCT)</p>	
<p>VRK-1900 Autorefr- Keratometer®</p>	
<p>Test Cover-Uncover</p>	

<p>ETDRSC Optotipos Sloan</p>	 The image shows a Sloan Optotypes chart, a standard tool for measuring visual acuity. It consists of a grid of letters (H, O, T, V, O) arranged in rows of decreasing size. The letters are black on a white background. The chart is used to determine the smallest size of letters a person can read.
<p>Test Worth de 4 Luces</p>	 The image shows a Test Worth de 4 Luces chart, a tool used to measure contrast sensitivity. It consists of a black background with four colored circles: a red circle at the top, two green circles on the sides, and a white circle at the bottom.

Anexo 3. Consentimiento informado

D./Dña , de de edad y con DNI N°

Manifiesto que:

- He sido informado/a sobre los beneficios que podría suponer el participar en el presente experimento "Neurorrehabilitación de función visual en sujetos ambliopes adultos", con el fin de estudiar (1 en cada caso):

a) la modulación temporal de la función binocular y la agudeza visual tras terapia oclusiva aguda del ojo patológico/ más débil.

b) La modulación temporal de la supresión interocular tras un entrenamiento agudo mediante Perceptual Learning, oclusión ocular, tDCS y silenciamiento auditivo bilateral/facilitación háptica.

c) La modulación a medio/largo plazo de la supresión interocular, la agudeza visual y la estereopsis tras un entrenamiento crónico de Perceptual Learning, oclusión ocular, tDCS y silenciamiento auditivo bilateral/facilitación háptica.

- He sido informado/a de las ventajas demostradas por parte de la oclusión temporal del ojo patológico/ más débil en tareas de rendimiento visual específicas, así como de la ausencia, hasta el momento, de efectos secundarios asociados a dicha intervención.
- Declaro no padecer ni haber padecido estrabismo, ni ninguna otra alteración visual de origen no ocular. A su vez, declaro no haber sido diagnosticado patología psiquiátrica o neurológica nunca.
- He sido informado de la compensación académica (2 créditos) que recibiré en caso de completar el estudio en su totalidad (en caso de ser estudiante de la UAL).
- He sido informado de mi derecho a retirarme del estudio en cualquier momento del mismo sin permiso por parte de los investigadores (pero con previo aviso).
- He sido informado/a de que mis datos personales serán protegidos e incluidos en un fichero que deberá estar sometido a, y con las garantías de, la ley 15/1999 del 13 de diciembre.

Tomando ello en consideración, OTORGO mi CONSENTIMIENTO para que los datos clínicos y experimentales obtenidos se puedan emplear con fines científicos, así como a participar como sujeto experimental en todo el proceso.

En Almería, a..... de de 2016

Fdo. D/Dña:

Anexo 4. Ficha de seguimiento

-PLANTILLA INVESTIGACIÓN AMBLIOPÍA-

DATOS:

Nombre: [REDACTED]	Edad: 42	E.mail:	Nº.Sujeto: ●
Ojo ambliope: Derecho		Tif:	
Rueda Derecha: 3		Rueda Izquierda: 1	
Distancia LO: 959	Ri: 0	IPD: 64.1	
Interpupilar LI: 0	RO: 959		
Patologías adicionales: No.			

Con tratamientos occlusivos alrededor de los 7 años.

LÍNEAS BASE (BL):

Agudeza Visual (AV):	AVOD: 0,34	AVOI: -0,06	AVBIN: -0,1
Contraste:	CSFOOC 3C/D: 2	CSFOOC 6C/D: 0	CSFOOC 12C/D: 0
	CSFOOC 18C/D: 0	CSFONO 3C/D: 6	CSFONO 6C/D: 4
	CSFONO 12C/D: 3	CSFONO 18C/D: 2	
Estereopsis:	25"		
Supresión:	F1: 73	F1: 33	F1: 82
	F2: 13	F2: 5	F2: 3
	Media F1: 62.6	Media F2: 7	

SEMANA 1:

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
F1: 77	F1: 82	F1: 62	F1: 80	F1:
F2: 13	F2: 5	F2: 3	F2: 5	F2:

Agudeza Visual (AV):	AVOD: 0,36	AVOI: -0,1	AVBIN: -0,12
Contraste:	CSFOOC 3C/D: 6	CSFOOC 6C/D: 0	CSFOOC 12C/D: 0
	CSFOOC 18C/D: 0	CSFONO 3C/D: 6	CSFONO 6C/D: 5
	CSFONO 12C/D: 5	CSFONO 18C/D: 5	
Estereopsis:	25"		

SEMANA 2:

Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
F1: 80	F1: 82	F1: 77	F1: 76	F1: 82
F2: 5	F2: 3	F2: 4	F2: 3	F2: 3

Agudeza Visual (AV):	AVOD: 0,36	AVOI: -0,1	AVBIN: -0,1
Contraste:	CSFOOC 3C/D: 7	CSFOOC 6C/D: 2	CSFOOC 12C/D: 0
	CSFOOC 18C/D: 0	CSFONO 3C/D: 6	CSFONO 6C/D: 5
	CSFONO 12C/D: 5	CSFONO 18C/D: 5	
Estereopsis:	25"		

