

ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO BINOCULAR EN AMBLIOPÍA

BINOCULAR TREATMENT STRATEGIES IN AMBLYOPIA

N.G. Alcalde ^{a, b}, J.F. Barraza ^{a, b}, E.M. Colombo ^{a, b},*

^a Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (DLYV), Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. Av. Independencia 1800 – (T4002BLR) San Miguel de Tucumán – Provincia de Tucumán – Argentina
^b Instituto de Investigación en Luz Ambiente y Visión (ILAV, CONICET-UNT)
Av. Independencia 1800 – (T4002BLR) San Miguel de Tucumán – Provincia de Tucumán – Argentina

Recibido: 07/03/18; aceptado: 06/07/18

La ambliopía, un trastorno del desarrollo que resulta de alteraciones fisiológicas en la corteza visual y el deterioro de la visión desde una edad temprana, es consecuencia de la experiencia binocular anormal durante el período de desarrollo del sistema visual o período de plasticidad neuronal. Dicho deterioro conlleva a desarrollar no solamente una agudeza visual disminuida, sino también, todo un conjunto de problemas monoculares (como la baja sensibilidad al contraste) y binoculares entre los que están la supresión del ojo ambliope por parte del otro ojo y una baja estereopsis la que tiene asociada problemas en las habilidades motoras finas y gruesas que dificulta el normal desarrollo de las actividades diarias de las personas. Siendo la causa más común de visión disminuida en la niñez y que del 1 al 4% de la población mundial la padece, el tratamiento convencional de la ambliopía no es efectivo en un buen porcentaje de casos: no es diagnosticado a tiempo y los sujetos presentan poca conformidad con esta terapia. A partir de un mejor entendimiento de los procesos que intervienen en el desarrollo de la ambliopía, en la última década han surgido nuevos enfoques binoculares para su tratamiento. El objetivo de este trabajo fue resaltar aspectos básicos de la enfermedad y revisar trabajos previos sobre las diferentes terapias binoculares desarrolladas.

Palabras clave: ambliopía, visión binocular, tratamiento, agudeza visual, estereopsis, supresión.

Amblyopia, a developmental disorder that resulted from physiological alterations on the visual cortex and the vision impairment early in life, is a consequence of an abnormal binocular experience during the critical period of visual system development called “neural plasticity period”. Such impairment causes not only a diminished visual acuity, but also other monocular problems, such as poor contrast sensitivity, or binocular ones like high degree of suppression of the amblyopic eye by the fellow eye and a poor or no stereopsis, which is associated with problems on fine and gross motor skills that impact negatively on the normal development of people’s daily life. Being the most common cause of impaired vision during childhood and also from 1-4% of world’s population has amblyopia, the conventional treatment is not enough effective: amblyopia is not discovered on time and there is a poor compliance with patching/occlusion therapy in a great amount of cases. Thus, from a better understanding of the intervenient processes on the development of amblyopia, new binocular approaches have emerged on the last decade. The aim of this paper is to highlight basic aspects about amblyopia and review previous work about binocular therapies for treatment.

Keywords: amblyopia, binocular vision, treatment, visual acuity, stereopsis, suppression,

I. INTRODUCCIÓN

La ambliopía se define como un trastorno del desarrollo que resulta de alteraciones fisiológicas en la corteza visual y el deterioro de la visión a una edad temprana que puede ocurrir desde el nacimiento hasta aproximadamente los 7 años, lo que se conoce como “período de plasticidad neuronal” [1]. Esta condición es consecuencia de la experiencia binocular anormal durante dicho período. Afectando del 1 al 4% de la población mundial, es la causa más frecuente de visión disminuida en la niñez. Clínicamente, la ambliopía se define como la reducción en la agudeza visual (AV), acompañada por uno o más factores ambliogénicos como son el estrabismo (la desviación de un ojo con

respecto al otro que se manifiesta en las diferentes posiciones de mirada, pudiendo variar su ángulo de desviación), la anisometropía (errores refractivos no corregidos con diferencias existentes entre los correspondientes meridianos mayores de los dos ojos de al menos 2.00D), altos errores refractivos, o enfermedades como cataratas (reducción de la transparencia del cristalino que genera la pérdida progresiva de la visión), ptosis palpebrales (modificación de la dinámica y la estática del párpado superior provocada por una irregularidad en el crecimiento del músculo elevador) o hemangiomas. Es así que las personas que presentan esta condición se caracterizan por tener deficiencias monoculares en AV y sensibilidad al contraste (SC), además de ser más

* nalcalde@facet.unt.edu.ar

afectados por el efecto de crowding (influencia nociva de los contornos cercanos a objetos en la discriminación visual, la que a veces afecta el reconocimiento de éstos en medio de un patrón desordenado). Poseen problemas binoculares como estereópsis no medible o pobre, supresión por parte del ojo no ambliope al ojo ambliope, una pobre integración espacial, percepción del movimiento global, fusión, entre otros [1, 2, 3], lo que conlleva a desarrollar deficiencias motoras finas y gruesas, y también a presentar un mayor tiempo de reacción para ciertas actividades (como manejar un automóvil o realizar deporte) [2, 4 - 7], lo cual va en detrimento de su desempeño en la vida cotidiana.

La ambliopía es un problema significativo de salud pública ya que dada la cantidad de personas que padecen esta condición, muchas son diagnosticadas por exclusión, es decir, no hay una medida estándar para determinar la enfermedad, y más de la mitad de la población de ambliopes no son diagnosticados antes de los 5 o 6 años, edad en la que comienza su escolaridad, por lo que en muchos casos eso afecta a la prognosis y al resultado del tratamiento [2, 8].

La corrección de la ambliopía es un área muy amplia y ha sido abordada con diferentes tratamientos propuestos a lo largo de más de 100 años [9], donde el "gold standard" es la terapia de oclusión, en la cual se fuerza al ojo ambliope a ser utilizado mientras se ocluye o penaliza al ojo no ambliope para mejorar la función monocular. Este método tiene una alta tasa de efectividad en niños pequeños, pero decrece a medida que la edad aumenta. Del total de niños que realizan la terapia de oclusión, entre el 15 al 50% fallan en lograr una agudeza visual normal, aún luego de períodos extensos de tratamiento. Las razones pueden ser que el tratamiento se comenzó tarde así como la baja conformidad del paciente con el tratamiento pues es incómodo [2, 9]. Además, existen otros problemas en torno a la terapia de oclusión: del 50-85% de las personas que logran una AV normal hay un porcentaje del 25% que regresan a algún grado de ambliopía una vez que el parche ha sido removido. Sumado a las molestias que implica llevar el parche durante los períodos de oclusión, que ya producen una reducción en la visión binocular y en la estereópsis, la persona sufre una baja autoestima [8].

Dado que la terapia de oclusión pareciera no ser la mejor opción para tratar la ambliopía de todos los pacientes, en las últimas décadas han surgido nuevas alternativas que han demostrado tener éxito. Algunas de ellas son puramente monoculares, algunas monoculares bajo alguna otra condición binocular y otras puramente binoculares: empleando estímulos dicópticos o disminuyendo el contraste en el ojo no ambliope para lograr el uso simultáneo de ambos ojos [1, 2, 9 - 11]. A partir de muchos de estos tratamientos y de diversos estudios se observó que la plasticidad neuronal juega un papel sumamente importante en la recuperación de la visión de los ambliopes y que la misma perdura a lo largo de los años con menor intensidad.

El aprendizaje perceptual (PL, del inglés "Perceptual Learning"), desarrollado a partir del entrenamiento visual, es una de las técnicas que más atención ha captado en los últimos tiempos para su uso en el tratamiento de la ambliopía. Gibson (1963) [12] lo definió como "cualquier cambio relativamente permanente y consistente en la percepción de un estímulo o arreglo de estímulos por medio de la práctica o de la experiencia con dicho estímulo o arreglo de estímulos". Haciendo foco en la noción de que practicando tareas visuales se puede lograr mejoras importantes y perdurables en el desempeño de las mismas, es posible lograr también cambios en el procesamiento neuronal en etapas tempranas del procesamiento visual, como en V1 [8].

El objetivo de esta revisión es presentar los avances en el campo del entrenamiento perceptual como alternativa al tratamiento convencional de la ambliopía haciendo énfasis en aquellas terapias binoculares y en los métodos de medición de mejora de estos tratamientos.

II. VISIÓN BINOCULAR Y AMBLIOPÍA

Supresión y estereópsis

La visión binocular en sujetos normales involucra igual información proveniente de ambos ojos que se fusiona para producir un solo percepto del ambiente visual. La supresión se refiere a la inhibición cortical de la percepción de objetos en parte o totalmente del campo visual de un ojo durante la visión binocular. En ambliopía, la visión binocular es mantenida aun en la ausencia de la fusión, por medio de la supresión de la información del ojo ambliope por el ojo no ambliope y que selectivamente mejora la entrada de información proveniente de este último [13].

En el estrabismo, la supresión permite evitar la diplopía o la confusión visual, mientras que en la anisometropía sirve para impedir el emborronamiento óptico proveniente del ojo más amétrope. La herramienta más usada para medir la supresión en la clínica es el Worth 4 dot test, en el cual, estímulos de diferentes colores son presentados anaglíficamente y el grado de contribución de cada ojo a la percepción se mide subjetivamente. El problema con esta técnica es que solamente indica si hay o no supresión, por lo que no permite saber qué tan suprimido está el ojo ambliope. A su vez, si bien existe una variedad de métodos cuantitativos para determinar la supresión como el test de coherencia de movimiento (del inglés "Motion Coherence Test") [14], el test de coherencia de orientación (del inglés "Orientation Coherence Test") [15] y el test de fase (del inglés "Phase Test") [16, 17], no existe una medida que sea estándar. De hecho no existe, salvo el worth 4 dot test, una medida que sea ampliamente usada en la clínica.

La visión binocular también conforma la base de la estereópsis, la cual puede pensarse como la percepción de profundidad. Cuando el ser humano mira un objeto, cada ojo lo ve desde un ángulo apenas diferente y envía esas imágenes al cerebro. Las diferencias entre esas dos imágenes son integradas en una sola, y son usadas para

mostrar si el objeto está cerca o lejos, creando un efecto de tres dimensiones [18].

Una proporción sustancial de la población mundial no puede hacer uso de la estereopsis o es estereoscópicamente deficiente. Dependiendo el test de medición empleado, se estima que el rango va desde un 5% a un 34 % en sujetos adultos. Este problema puede resultar en un impacto sustancial en tareas visuomotoras, dificultad en practicar deportes, y moverse de manera segura [1, 19]. En ambliopía, el déficit más comúnmente asociado bajo condiciones de visión ordinarias (binocular) es el de la percepción estereoscópica de profundidad [20].

Se sabe que existe una compleja relación entre la agudeza visual y la estereopsis en ambliopía. De las investigaciones llevadas a cabo, se observó que el estrabismo, sea con o sin anisometropía causa estragos en la estereoagudeza (en inglés: "Stereoacuity", el límite de disimilaridad de dos objetos cuyas imágenes pueden ser fusionadas visualmente), independientemente de la AV del ojo más débil. Al contrario, muchos ambliopes anisométricos conservan algo de estereopsis, es más, entre ellos existe cierta relación lineal entre la estereoagudeza y la agudeza visual del ojo ambliope [1].

Para medir la estereopsis existen distintos tests en el mercado, entre ellos podemos mencionar: el Random dot test, el Titmus test, el Frisby stereotest, el Random dot E stereotest, el Randot test, el TNO test, el Lang test, y sus variaciones [21]. La mayoría de estos tests clínicos presentan cierta disparidad que podría causar una subestimación del grado de mejora en la estereoagudeza [1]. Por lo tanto, se observa una deficiencia en la determinación del nivel de estereopsis por parte de estos métodos de medición. Esta falta de consenso entre los tests y los propios problemas que cada uno presenta juegan en contra a la hora de desarrollar entrenamientos que permitan la recuperación de la visión de ambliopes. Por lo tanto, es de importancia poder contar con métodos más precisos ya que la evaluación del grado de estereopsis es una medida estándar para evaluar la eficacia del tratamiento y la capacidad de mejora de las personas al realizarlo.

Habilidades Motoras en ambliopía

Se han reportado numerosos ejemplos de déficits en habilidades motoras finas y gruesas, y de problemas asociados a las mismas, como la velocidad de lectura y los tiempos de reacción, en ambliopes, tanto para aquellos con estrabismo como con anisometropía [1, 5, 7, 22 - 26]. En estos estudios se observaron que el desempeño en las tareas motoras está fuertemente relacionado con la estereoagudeza, donde los sujetos con ambliopía eran significativamente más lentos y presentaban mayores dificultades que sujetos sin ambliopía.

El deterioro exhibido en las tareas examinadas en Grant & Moseley (2011) [22] impactan en detrimento de las actividades diarias de individuos con ambliopía y visión binocular anormal. Sujetos con estos desordenes tienden a comportarse con cautela y a emplear medidas

adaptativas que incrementan su margen de error, presumiblemente por la incerteza con la que cuentan al realizar una tarea determinada, por ejemplo movimientos más lentos para aumentar la precisión. Aun así, no suelen alcanzar niveles normales de exactitud. Además, en el mundo real, nos enfrentamos a tareas que requieren una reacción rápida, por ejemplo, cuando conducimos un vehículo. Usualmente, en estas situaciones el desempeño se vuelve particularmente perjudicado.

En el trabajo de Webber et al. (2008) [24], mencionan que la etiología de la ambliopía puede influenciar el desempeño en tareas motoras finas debido a las diferencias en el desarrollo neuro-visual entre aquellos que presentan anisometropía y aquellos que presentan estrabismo. Básicamente, los anisométricos presentan por lo general mejor estereopsis por lo que su desempeño en tareas visuomotoras es mejor que aquellos que presentan estrabismo, donde en la mayoría de los casos presentan estereopsis nula, no medible o baja.

A la hora de definir un posible tratamiento para la ambliopía, se debe tener en cuenta si permite también una mejora en magnitud de las habilidades motoras finas, gruesas, en los tiempos de reacción, en la rapidez de lectura, etc. Webber et al. (2016) [4] comprobó que es posible mejorar la estereopsis, y las habilidades motoras finas. Lo que aún es incierto es si es posible mejorar el resto de problemas motores asociados a la ambliopía.

III. TRATAMIENTO EN AMBLIOPÍA

Se ha demostrado que las deficiencias en la visión binocular son el principal problema en la ambliopía, más que la reducción de la agudeza visual. Además, es de amplio conocimiento que los tratamientos convencionales no son suficientes para lograr una agudeza visual normal para un grupo importante de niños con ambliopía. Aun cuando la AV alcanza un nivel normal o aceptable, la ambliopía puede recurrir nuevamente, debido a que, en muchos casos, quienes finalizan su terapia presentan cierto grado de ambliopía residual [2].

Si se considera un problema importante el hecho que niños mayores, adolescentes y adultos no sean usualmente tratados debido a la asunción de que el período de plasticidad neuronal concluye a edad temprana, y que con éste, se pierde la capacidad de poder tener una visión normal [8]. Si este fuera el caso, una experiencia binocular no correlacionada y una habitual supresión del ojo ambliope causarían pérdidas permanentes en las células binoculares y modificarían el perfil funcional de las células corticales que responden al ojo ambliope, produciéndose un daño irreparable. Sin embargo, con los trabajos de Baker et al. (2007) [27], Mansouri et al. (2008) [14], Narasimhan et al. (2012) [13], Ding & Levi (2011) [10] y otros, nacieron nuevas técnicas para la recuperación de la visión en ambliopes, basándose en el hecho de que, aun existiendo una disfunción, la capacidad de la interacción binocular no

está ausente y, por lo tanto, es posible restaurar la visión de las personas con ambliopía mediante el uso del entrenamiento perceptual como herramienta principal, aplicándolo a nuevos paradigmas.

Entrenamiento perceptual dicóptico y juegos de video dicópticos

El primer enfoque a una terapia binocular de la ambliopía se dio a partir del trabajo de Eastgate et al. (2006) [28], el cual presentaba la implementación de la realidad virtual para el tratamiento de la ambliopía (Figura 1A). Su objetivo fue el desarrollo de un tratamiento que empleara ambos ojos para poder mejorar la agudeza visual en niños. El sistema I-Bit™ se basó en la imagen estereoscópica de realidad virtual para proveer un ambiente virtual en tres dimensiones, por medio de la presentación de imágenes diferentes (visualmente relacionadas) a cada ojo. El tratamiento consta de: un video (película) en la cual el ojo no ambliope recibía estímulos “secundarios” como el fondo estático del video y al ojo ambliope se le presentaba los objetos en movimiento. A su vez, este sistema contaba con videojuegos interactivos, donde algunos elementos dentro del juego eran comunes para ambos ojos y otros no, es decir, la información más relevante era presentada al ojo ambliope: el personaje y el o los objetivos del videojuego. Cleary et al. (2009) [29] puso a prueba este sistema en 12 niños (de entre 6 y 11 años) con ambliopía por estrabismo, anisometropía y mixta, pero con una nueva tecnología (Figura 1B) – empleando un headset de realidad virtual. Este estudio evaluó las mejoras en la AV con alto y bajo contraste, la fijación, la supresión con el Sbisabar test [30]. Los resultados de este trabajo mostraron mejoras en la AV para la mayoría de los casos, pero no ocurrió lo mismo con la binocularidad: más de la mitad de los participantes no mostraron mejoras.

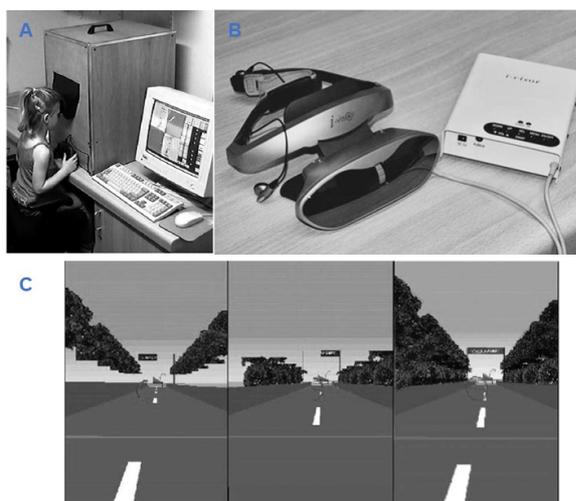


Figura 1. Sistema I-Bit™. Montaje de VR con monitor (A). Sistema con Headset (B). Imagen de muestra del videojuego dicóptico (A y C son imágenes tomadas de Eastgate et al., 2006; B fue tomada de Cleary et al., 2009)

Bajo el mismo concepto, se desarrolló un tratamiento de la ambliopía para adultos haciendo uso de la realidad virtual (VR), al emplear el sistema Oculus Rift (ver Figura 2) [31]. En este caso en particular se trabajó con 17 pacientes de entre 17 y 69 años de edad que presentaban ambliopía por anisometropía. Los mismos debían jugar durante cada sesión de 40 minutos cada una 2 veces por semana a 2 juegos de video modificados. Se les midió la AV (Carta de Snellen) y la estereoaquidez (Stereo Randot graded circle test) [21] antes y después del período de tratamiento. Los resultados obtenidos mostraron una mejoría en la agudeza visual y en la estereoaquidez para la mayoría de los casos: el 17% de los sujetos no mostraron mejoras en la AV, a su vez que 3 de 17 sujetos mantuvieron los valores de estereoaquidez.



Figura 2. Sistema de video juego dicóptico en VR desarrollado para uso en Oculus Rift. (Imagen obtenida de Žiak et al., 2017)

A partir del trabajo de Baker et al. (2007) [27], fueron surgiendo otros enfoques binoculares, basados en la existencia de mecanismos de sumación de contraste en ambliopes: Tomando en cuenta la señal atenuada del ojo ambliope y balanceando la señales de ambos ojos (disminuyendo el contraste en el ojo dominante), es posible obtener la participación de ambos ojos en la realización de tareas. La aparente falta de combinación binocular se debería simplemente a un desbalance en las señales monoculares antes de la integración. Basándose en lo demostrado en ese trabajo, Mansouri et al. (2008) [14] desarrollaron un método de cuantificación de la supresión, llamado “Test de Coherencia de Movimiento” (del inglés Coherence Motion Test), el cual permitió el desarrollo de un tratamiento dicóptico para la ambliopía [32, 33] al emplear dicha prueba como entrenamiento. El estímulo estaba formado por 2 conjuntos de puntos en movimiento: el conjunto “señal”, formado por aquellos puntos que se mueven en una misma dirección, y el conjunto “ruido” donde los puntos se movían en cualquier dirección. El cociente de los puntos ruido/señal requeridos para determinar la dirección del movimiento se llamó umbral de coherencia de movimiento (Figura 3). Así, empleando este estímulo dicópticamente, se pudo medir el grado para el cual los mecanismos subyacentes combinan la información proveniente de los ojos. Entonces, el entrenamiento

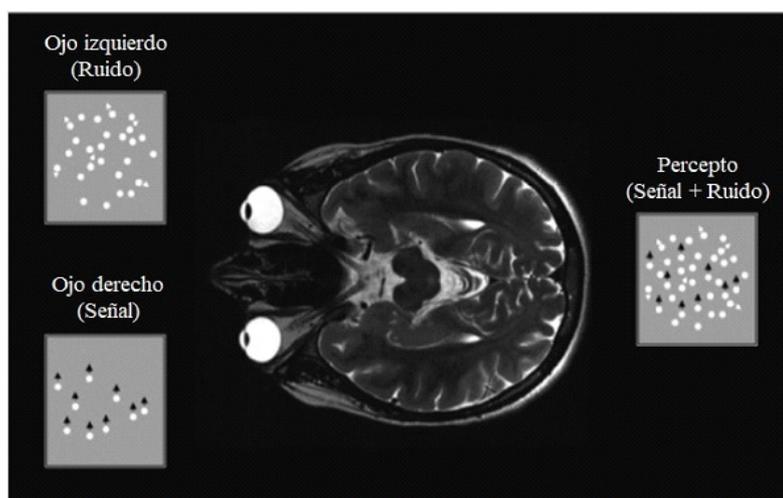


Figura 3. Ilustración del estímulo dicóptico utilizado en Hess et al., 2010.

perceptual consistió en la determinación de los umbrales dicópticos de coherencia de movimiento, los cuales fueron midiéndose y ajustándose conforme transcurría el período de tratamiento. A cada individuo que participó, se le registraron valores iniciales y finales de AV (con el test de Snellen), estereópsis (mediante el Randot dot test), y supresión. El periodo de tratamiento fue de 2 a 6 semanas, y participaron sujetos con ambliopías por estrabismo y mixtas (estrabismo y anisometropía juntas). Los resultados obtenidos demostraron mejoras en la AV en el ojo ambliope de todos los pacientes, aunque muchos no alcanzaron el nivel del ojo no ambliope. A su vez, en el 66% de los casos, se logró disminuir el grado de supresión y con respecto a la estereópsis, el 88% logró algún grado de mejora, cuando el 77% de los que participaron no presentaban estereópsis medible al comienzo del tratamiento.

Otro método dicóptico de entrenamiento perceptual, el Push-Pull [34], hacía uso de dos tareas: una de alineación y otra de discriminación. Se ajustaba inicialmente el contraste de la imagen del ojo no ambliope de forma tal que, con ambos ojos, se viera una cruz en el centro (fusión de las imágenes), permitiendo así, la contribución de ambos ojos. Luego el entrenamiento consistió en bloques en los que se presentaban estímulos diferentes a cada ojo (redes sinusoidales), y la tarea consistía en reportar si la imagen vista por el ojo ambliope estaba girada 90° o menos que la presentada al ojo no ambliope. Con este método se lograron mejoras que resultaron retenerse en el tiempo: un mejor balance interocular y un umbral menor de contraste del ojo ambliope.

Un problema con la mayoría de los tratamientos propuestos es la baja conformidad que presentan los pacientes: El hecho de que los ambliopes deban trasladarse al lugar (clínica o laboratorio) para realizar el tratamiento, sumado a la programación de horarios y la cantidad de horas por cada sesión de entrenamiento, entre otras cosas, afectan a los resultados finales de los pacientes con ambliopía. Se sabe que estos factores, afectan negativamente a la cantidad de personas que podrían tratarse realmente bajo estos regímenes de entrenamientos perceptuales. Una posible solución a

esta problemática surge de la mano de los avances de la tecnología al desarrollar entrenamientos dicópticos usando videojuegos en dispositivos portables (iPods y tablets) [35 - 37].

To et al. (2011) [35] desarrollaron un método portable usando un iPod Touch modificado por un arreglo lenticular que estaba colocado encima del display LCD. El sujeto debía jugar una versión modificada del tetris, la cual se diseñó para que sea dicóptica: tomando la idea de Cleary et al. (2009) [29]. El juego estaba desarrollado de forma tal que ciertos bloques del Tetris eran presentados a uno u otro ojo y otros eran comunes para los dos. Con el arreglo de lentes colocado correctamente y, a una posición y distancia determinadas, se lograba que cada ojo viese de manera separada los bloques (Figura 4). Además, como era necesario que exista la cooperación entre el ojo ambliope y el no ambliope, se ajustaba inicialmente el contraste de este último para lograr la combinación binocular bajo el mismo principio que fue usado por Hess et al. (2010a y 2010b) [32, 33]. Con este tratamiento fue posible evaluar el nivel de mejora de ambliopes del tipo anisométricos, estrábicos y mixtos. Las mediciones para evaluar el estado de las funciones visuales (supresión: Worth 4 dot test y coherencia de movimiento, stereópsis: Randot test, AV: Snellen) se evaluaron en varias instancias, sobre todo al comienzo y al final del tratamiento. Los resultados obtenidos muestran mejoras en la AV (donde el 33% obtuvo valores similares a un emélope), en la estereópsis (sólo el 55% de los evaluados) y en la supresión (donde el 67% eliminó completamente la supresión).

Con el mismo concepto usado por To et al. (2011) [35], Hess et al. (2014) [36] y posteriormente Birch et al. (2015) [37] desarrollaron tratamientos que emplean iPads y lentes anáglifas (con filtros rojo y verde). En el trabajo desarrollado por Hess et al. [36], los bloques vistos por el ojo ambliope (rojo) se presentaban en alto contraste mientras que los del ojo no ambliope (verde) se veían con bajo contraste, por lo que las mediciones iniciales de supresión llevadas a cabo en los trabajos anteriores [32, 33] fueron necesarias. Además, de la misma manera que en To et al. (2011) [35] había

bloques que eran vistos por ambos ojos. Los resultados obtenidos con este tratamiento fueron similares a los obtenidos anteriormente con el iPod lenticular.



Figura 4. Captura de pantalla del video juego dicóptico de To et al. (2011) sin el arreglo lenticular.

En el trabajo de Birch et al. (2015) [37] se implementaron cuatro juegos distintos presentados anaglíficamente para niños de entre 3 y 7 años. Dichos juegos se desarrollaron debido a que el modelo de Tetris propuesto anteriormente presentaba cierta dificultad en niños más pequeños. Los resultados obtenidos con este tratamiento fueron: un aumento en la agudeza visual, siendo éste similar entre los diferentes tipos de ambliopía. Sin embargo, no hubo mejoras significativas en la estereoagudeza. Como en el estudio, la terapia de oclusión no estaba prohibida, es posible que haya

influenciado de alguna manera en los resultados obtenidos.

Es importante destacar que, a partir de los trabajos de Hess en adultos y Birch en niños, se llevó a cabo un estudio aleatorizado sobre tratamientos binoculares para la ambliopía (Guo et al., 2016), en los que pusieron a prueba esta clase de entrenamientos desarrollados anteriormente, bajo un protocolo bien establecido.

En línea con los juegos dicópticos para el tratamiento de la ambliopía, Vedamurthy et al. (2015) [38] propusieron combinar una tarea de PL (monocular) de discriminación presentada solamente al ojo ambliope, mientras el sujeto con ambliopía jugaba a un juego de acción modificado (dicóptico) durante 40 horas. Dicho juego fue diseñado para incorporar los beneficios de los juegos de acción como es un medio inmersivo y atrapante. Se empleó una pantalla dividida de monitor y el juego era presentado a través de un estereoscopio (Figura 5). Participaron 38 adultos de entre 19 y 66 años con ambliopías anisométricas, mixtas o estrabísmicas solas. En el caso del estrabismo, los sujetos no podían tener una desviación muy marcada (> 30 Dioptrías de prisma). Contrario a los videojuegos dicópticos descritos anteriormente, se les presentaba a ambos ojos el mismo estímulo, con la salvedad de la luminancia/contraste de las imágenes presentadas al ojo no ambliope estaba reducida. Para evaluar el grado de mejora, se les midió la AV (Bailey-Lovie – UCB site), la estereoagudeza (Randot Stereo Test – Stereo Optical Co., Inc.) [21], la función de sensibilidad al contraste (qFSC – Lesmes et al. (2010) [39] – con un método adaptativo bayesiano), la velocidad de lectura

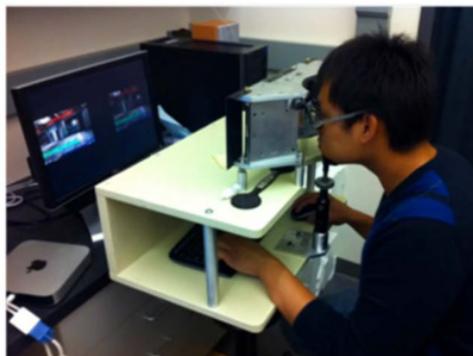


Figura 5. Montaje experimental del videojuego dicóptico (arriba). Captura de pantalla del juego (abajo). Imagen extraída de Vedamurthy et al. (2015)

(standardized MNRead Acuity Chart, Legge et al. (1989)) [40] y una encuesta sobre el estado percibido de la ambliopía (Amblyopia Strabismus Questionnaire Evaluation – ASQE, Felius et al. (2007)) [41]. Los resultados obtenidos muestran una mejora en la AV para los distintos grupos de ambliopes. En cuanto a la estereopsis, si bien un gran porcentaje fallaron el test de estereoaquidez, luego del entrenamiento se mostró un mejoramiento generalizado de la misma, donde los sujetos con anisometropía fueron quienes mostraron una mejora superior. La FSC también mejoró significativamente, mostrándose mayor para los anisométricos. Cuando evaluaron la velocidad de lectura posteriormente al entrenamiento, ésta se mostró también con mejoras.

entrenamiento finalizaba. Once participantes de entre 19 y 56 años llevaron a cabo este entrenamiento durante un período de 8 a 11 semanas. Se les midieron: el grado de supresión, por medio del ajuste del insecto (cociente de contraste interocular); la estereoaquidez, empleando el Randot Circles Stereotest (Stereo Optical CO., Inc.) [21] y el test de disparidad pura (PDT) [10]; por otro lado se registró la agudeza visual y la vergencia para evaluar la evolución de los participantes. Los resultados obtenidos muestran: a) una reducción sustancial de la supresión luego del tratamiento, donde todos los participantes, salvo uno solo, presentaron una supresión reducida, y dichos efectos se mantuvieron en una evaluación posterior. b) Este entrenamiento mostró una mejora en la estereopsis (con el Randot dot, sujetos que fallaron en el

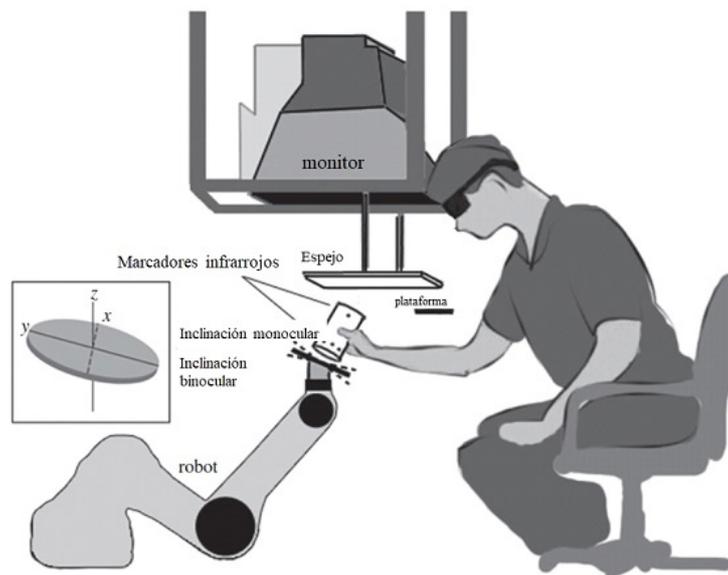


Figura 6. Dibujo del montaje experimental para el tratamiento en un entorno de realidad virtual. Vedamurthy et al. (2016)

Otro de los enfoques propuestos por Vedamurthy et al. en 2016 [19] consistió en entrenar a observadores ambliopes adultos que eran estereo-deficientes (que presentaran estrabismo y/o anisometropía) en una tarea visuomotora natural en un entorno de realidad virtual (Ver Figura 6). La tarea consistía en aplastar un insecto “virtual” presentado dicópticamente que se situaba en una superficie inclinada con un cilindro. La inclinación de la superficie estaba determinada por pistas que podían ser binoculares o monoculares. Los sujetos utilizaban unas lentes especiales (Crystal Eyes shutter goggles) para ver los estímulos. El entrenamiento iniciaba con el ajuste del contraste de las medias imágenes del insecto de manera que se viera completo y alineado. Luego de obtener la imagen correcta, el sujeto debía aplastar el insecto virtual con un cilindro de plástico que contaba con sensores para registrar el movimiento por medio de una cámara. Un cilindro virtual era representado y alineado con el real. Cada prueba acababa cuando el cilindro hacía contacto con la superficie y luego se volvía a presentar el insecto, el cual podía o no presentar modificaciones (cambios en la textura), y así sucesivamente, hasta que la sesión de

test, presentaron una estereopsis medible y con el PDT se observó que la estereopsis mejoró significativamente luego del tratamiento). c) La AV mejoró en 6 de los 11 sujetos, donde 3 de los que mostraron las mayores mejorías no mostraron aumento en la AV post-entrenamiento.

IV. DIRECCIONES FUTURAS Y CONCLUSIONES

La presente revisión ha presentado nociones básicas sobre la ambliopía y los efectos que esta enfermedad tiene sobre un porcentaje de la población mundial. Además, ha expuesto que la visión de los ambliopes puede recuperarse de alguna manera, aun cuando el período de desarrollo neuronal ha finalizado, al enfocarnos en tratamientos que permitan la participación de los dos ojos, ya que se ha demostrado que el problema primario de la ambliopía es la deficiente visión binocular.

Si bien en muchos de los trabajos expuestos aquí y en la literatura hablan sobre los déficits del ojo ambliope y de la visión binocular, poco se dice sobre el ojo no ambliope, que inclusive en algunos casos se lo considera

“normal” y se lo usa para como control cuando en realidad encontramos ciertos trabajos que afirman lo contrario [42]. Entonces, si la función binocular mejora por medio de un tratamiento determinado, no sabemos con certeza, en muchos casos, si la mejora fue solamente por causa del ojo ambliope. Por lo tanto, sería importante y ayudaría al mejor entendimiento de la enfermedad el considerar al ojo no ambliope como “no normal” y desarrollar métodos de medición de funciones visuales que permitan dar luz sobre aquello que aún no está claro.

Otra cuestión a considerar son los métodos de medición del grado de supresión y la estereopsis en la clínica. Se ha visto que las herramientas con las que usualmente se determina si una persona es ambliope, si tiene problemas de estereopsis o un alto grado de supresión, no son objetivas o lo necesariamente precisas. Se observó que con todos estos nuevos tratamientos binoculares se han ido desarrollando herramientas para la medición de estereopsis y supresión, pero, para las exigencias que se presentan sobre todo en el ámbito de la medicina, sería importante el contar con medidas que arrojen resultados más precisos y que sean implementadas exitosamente en la clínica oftalmológica.

Al analizar los diferentes entrenamientos/tratamientos para las diferentes ambliopías y los distintos rangos de edad se pudo observar que una evolución ha ido ocurriendo a lo largo de los años. La tecnología ha ido avanzando velozmente, sobre todo en esta última década, por lo tanto, es de esperarse que el problema de la ambliopía será abordado con nuevas metodologías, como por ejemplo, el uso de la realidad virtual o realidad aumentada para los entrenamientos perceptuales dicópticos, que permitan no solo recuperar la visión, sino también la realización de movimientos del cuerpo que ayuden a los ambliopes a realizar sus tareas cotidianas de manera más segura y con mayor facilidad.

V. REFERENCIAS

- 1 - Levi, D. M., Knill, D. C., & Bavelier, D. (2015). Stereopsis and amblyopia: A mini-review. *Vision Res.*, **114**, 17–30. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.01.002>
- 2 - Birch, E. E. (2013). Amblyopia and binocular vision. *Prog. Retin. Eye. Res.*, **33**(1), 67–84. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2012.11.001>
- 3 - Hess, R. F., Thompson, B., & Baker, D. H. (2014). Binocular vision in amblyopia: Structure, suppression and plasticity. *Ophthal Physl Opt*, **34**(2), 146–162. <https://doi.org/10.1111/opo.12123>
- 4 - Webber, A. L., Wood, J. M., & Thompson, B. (2016). Fine motor skills of children with amblyopia improve following binocular treatment. *Invest Ophth Vis Sci*, **57**(11), 4713–4720. <https://doi.org/10.1167/iovs.16-19797>
- 5 - O'Connor, A. R., Birch, E. E., Anderson, S., & Draper, H. (2010). Relationship between Binocular Vision, Visual Acuity, and Fine Motor Skills. *Opt Vision Sci*, **87**(12), 942. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181fd132e>
- 6 - Haibach, P. S., Wagner, M. O., & Lieberman, L. J. (2014). Determinants of gross motor skill performance in children with visual impairments. *Res Dev Disabil*, **35**(10), 2577–2584. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.05.030>
- 7 - Engel-Yeger, B. (2008). Evaluation of gross motor abilities and self perception in children with amblyopia. *Disabil Rehabil*, **30**(4), 243–248. <https://doi.org/10.1080/09638280701257221>
- 8 - Levi, D. M., & Li, R. W. (2009). Perceptual learning as a potential treatment for amblyopia: A mini-review. *Vision Res.*, **49**(21), 2535–2549. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.02.010>
- 9 - Hess, R. F., & Thompson, B. (2015). Amblyopia and the binocular approach to its therapy. *Vision Res.*, **114**, 4–16. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.02.009>
- 10 - Ding, J., & Levi, D. M. (2011). Recovery of stereopsis through perceptual learning in human adults with abnormal binocular vision. *P Natl Acad Sci Usa*, **108**(37), E733–E741. <https://doi.org/10.1073/pnas.1105183108>
- 11 - Sengpiel, F. (2014). Minireview Plasticity of the Visual Cortex and Treatment of Amblyopia. *Curr Biol*, **24**, R936–R940. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.05.063>
- 12 - Gibson, E. J. (1963). Perceptual Learning. *Annual Review of Psychology*, **14**(1), 29–56. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.14.020163.000333>
- 13 - Narasimhan, S., Harrison, E. R., & Giaschi, D. E. (2012). Quantitative measurement of interocular suppression in children with amblyopia. *Vision Res*, **66**, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2012.06.007>
- 14 - Mansouri, B., Thompson, B., & Hess, R. F. (2008). Measurement of suprathreshold binocular interactions in amblyopia. *Vision Res*, **48**(28), 2775–2784. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.09.002>
- 15 - Husk, J. S., & Hess, R. F. (2013). Global processing of orientation in amblyopia. *Vision Res*, **82**(Supplement C), 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.02.005>
- 16 - Huang, C.-B., Zhou, J., Lu, Z.-L., & Zhou, Y. (2011). Deficient binocular combination reveals mechanisms of anisometropic amblyopia: Signal attenuation and interocular inhibition. *J Vision*, **11**(6), 4–4. <https://doi.org/10.1167/11.6.4>
- 17 - Huang, C.-B., Zhou, J., Lu, Z.-L., Feng, L., & Zhou, Y. (2009). Binocular combination in anisometropic amblyopia. *J Vision*, **9**(3), 17.1-16. <https://doi.org/10.1167/9.3.17>
- 18 - Binocular Vision and Stereopsis - Oxford Scholarship. (1996, February 8). Retrieved February 27, 2018, from <http://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/acprof:oso/9780195084764.001.0001/acprof-9780195084764>
- 19 - Vedamurthy, I., Knill, D. C., Huang, S. J., Yung, A., Ding, J., Kwon, O.-S., Levi, D. M. (2016). Recovering stereo vision by squashing virtual bugs in a virtual reality environment. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.*, **371**(1697), 20150264. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0264>
- 20 - Webber, A. L., & Wood, J. (2005). Amblyopia: prevalence, natural history, functional effects and treatment. *Clin Exp Optom*, **88**(6), 365–375. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2005.tb05102.x>

- 21 - Fricke, T. R., Siderov, J., & Faa, M. (1997). Stereopsis, stereotests, and their relation to vision screening and clinical practice, (October), 165–172.
- 22 - Grant, S., & Moseley, M. J. (2011). Amblyopia and Real-World Visuomotor Tasks. *Strabismus*, **19**(3), 119–128. <https://doi.org/10.3109/09273972.2011.600423>
- 23 - Raashid, R. A., Liu, I. Z., Blakeman, A., Goltz, H. C., & Wong, A. M. F. (2016). The initiation of smooth pursuit is delayed in anisometric amblyopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **57**(4), 1757–1764. <https://doi.org/10.1167/iovs.16-19126>
- 24 - Webber, A. L., Wood, J. M., Gole, G. A., & Brown, B. (2008). The Effect of Amblyopia on Fine Motor Skills in Children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **49**(2), 594–603. <https://doi.org/10.1167/iovs.07-0869>
- 25 - Birch, E. E., & Kelly, K. R. (2017). Amblyopia and slow reading. *J AAPOS*. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2017.06.013>
- 26 - Grant, S., Melmoth, D. R., Morgan, M. J., & Finlay, A. L. (2007). Prehension Deficits in Amblyopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **48**(3), 1139–1148. <https://doi.org/10.1167/iovs.06-0976>
- 27 - Baker, D. H., Meese, T. S., Mansouri, B., & Hess, R. F. (2007). Binocular summation of contrast remains intact in strabismic amblyopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **48**(11), 5332–5338. <https://doi.org/10.1167/iovs.07-0194>
- 28 - Eastgate, R. M., Griffiths, G. D., Waddingham, P. E., Moody, A. D., Butler, T. K. H., Cobb, S. V., ... Brown, S. M. (2006). Modified virtual reality technology for treatment of amblyopia. *Eye*, **20**(3), 370–374. <https://doi.org/10.1038/sj.eye.6701882>
- 29 - Cleary, M., Moody, A. D., Buchanan, A., Stewart, H., & Dutton, G. N. (2009). Assessment of a computer-based treatment for older amblyopes: the Glasgow Pilot Study. *Eye (London, England)*, **23**(1), 124–131. <https://doi.org/10.1038/sj.eye.6702977>
- 30 - Crawford, L., & Griffiths, H. (2015). The repeatability of the Sbisabar for testing density of suppression. *Br J Orthopt J*, **12**(0), 35–40.
- 31 - Peter, Ž., Holm, A., Hali, J., Moj, P., & Piñero, D. P. (2017). Amblyopia treatment of adults with dichoptic training using the virtual reality oculus rift head mounted display: preliminary results. <https://doi.org/10.1186/s12886-017-0501-8>
- 32 - Hess, R. F., Mansouri, B., & Thompson, B. (2010a). A Binocular Approach to Treating Amblyopia: Antisuppression Therapy. *Optom Vis Sci*, **87**(9), 697–704. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181ea18e9>
- 33 - Hess, R. F., Mansouri, B., & Thompson, B. (2010b). A new binocular approach to the treatment of Amblyopia in adults well beyond the critical period of visual development. *Restor. Neurol. Neurosci.*, **28**(6), 793–802. <https://doi.org/10.3233/RNN-2010-0550>
- 34 - Ooi, T. L., Su, Y. R., Natale, D. M., & He, Z. J. (2013). A push-pull treatment for strengthening the “lazy eye” in amblyopia. *Curr Biol*, **23**(8), R309–R310. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.03.004>
- 35 - To, L., Thompson, B., Blum, J. R., Maehara, G., Hess, R. F., & Cooperstock, J. R. (2011). A Game Platform for Treatment of Amblyopia. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, **19**(3), 280–289. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2011.2115255>
- 36 - Hess, R. F., Babu, R. J., Clavagnier, S., Black, J., Bobier, W., & Thompson, B. (2014). The iPod binocular home-based treatment for amblyopia in adults: Efficacy and compliance. *Clin Exp Optom*, **97**(5), 389–398. <https://doi.org/10.1111/cxo.12192>
- 37 - Birch, E. E., Li, S., Jost, R. M., Subramanian, V., Morale, S. E., Stager, D., ... Stager, D. R. (2014). Binocular iPad treatment for amblyopia in preschool children. *J AAPOS*, **18**(4), e1–e2. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2014.07.004>
- 38 - Vedamurthy, I., Nahum, M., Huang, S. J., Zheng, F., Bayliss, J., Bavelier, D., & Levi, D. M. (2015). A dichoptic custom-made action video game as a treatment for adult amblyopia. *Vision Res*, **114**, 173–187. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.04.008>
- 39 - Lesmes, L. A., Lu, Z.-L., Baek, J., & Albright, T. D. (2010). Bayesian adaptive estimation of the contrast sensitivity function: The quick CSF method. *J Vision*, **10**(3), 17–17. <https://doi.org/10.1167/10.3.17>
- 40 - Legge, G. E., Ross, J. A., Luebker, A., & Lamay, J. M. (1989). Psychophysics of Reading. Viii. The Minnesota Low-Vision Reading Test. *Optom Vis Sci*, **66**(12), 843–853.
- 41 - Felius, J., Beauchamp, G. R., Stager, D. R., Van De Graaf, E. S., & Simonsz, H. J. (2007). The amblyopia and strabismus questionnaire: English translation, validation, and subscales. *Am J Ophthalmol*, **143**, 305–310.
- 42 - Meier, K., & Giaschi, D. (2017). Unilateral amblyopia affects two eyes: Fellow eye deficits in amblyopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **58**(3), 1779–1800. <https://doi.org/10.1167/iovs.16-20964>