

Cuantificación de la supresión basada en contraste: una técnica cromática para la presentación dicóptica

Quantifying suppression based on contrast: a chromatic technique for dichoptic presentation

Yenner Joaquín Díaz Núñez,^I Frank Fernández Escalona,^{II} Yanet Cristina Díaz Núñez^{III}

^I Ingeniero en Ciencias Informáticas. Grupo de Investigación de Realidad Virtual, Departamento de Desarrollo, Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad de Granma, Cuba. E-mail: ydiazn@udg.co.cu

^{II} Ingeniero en Ciencias Informáticas. Grupo de Investigación de Realidad Virtual, Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad de Granma, Cuba. E-mail: ffernandeze@udg.co.cu

^{III} Especialista en Primer Grado en Oftalmología y MGI. Cátedra de Oftalmología del Hospital Docente Quirúrgico "Carlos Manuel de Céspedes", Bayamo, Cuba. E-mail: yanetcristinad@grannet.grm.sld.cu

RESUMEN

Las pruebas clínicas para evaluar la supresión están diseñadas generalmente para comprobar solamente su presencia. En este trabajo se evalúa la fiabilidad de la cuantificación de la supresión basada en contraste. Se utilizó una tarea dicóptica de discriminación de movimiento global con kinematogramas de puntos aleatorios, una técnica de codificación cromática basada en la división del espectro visible, para la construcción de la presentación dicóptica, y la variante de cuantificación que comprende una etapa binocular y otra dicóptica. Para determinar el desempeño se utilizó el método de la escalera. A pesar de las limitaciones del experimento, los resultados apoyan la teoría sobre la relevancia del desequilibrio de contraste intraocular en el proceso de la supresión, corroboran la fiabilidad de la cuantificación de la supresión basada en contraste y validan la viabilidad de la técnica cromática dicóptica.

Palabras claves: cuantificación de la supresión, punto de balance, tarea de discriminación de movimiento global, técnica cromática dicóptica.

ABSTRACT

Clinic trials to evaluate suppression are generally designed to check only their presence. In this work the reliability of quantifying suppression based on contrast is evaluated. Dichoptic task for discrimination of global motion was used with a random dot kinematograms. A chromatic technique based on division of visible spectra, was used for development of dichoptic presentation, and the quantification variant comprising binocular and dichoptic stages was selected. To determinate the performance the staircase method was used. Despite the limitations of experiment, the results support the theory on the relevance of intraocular contrast imbalance in the suppression process; they confirm the reliability of quantifying suppression based on contrast and validate the feasibility of dichoptic chromatic technique.

Key words: suppression quantification, balance point, global motion discrimination task, dichoptic chromatic technique.

INTRODUCCIÓN

La ambliopía ha sido definida como una disminución de la agudeza visual mejor corregida, aunque también está asociada a disfunciones binoculares que incluyen el deterioro o ausencia de la estereopsia. Esta disfunción aparece en la infancia temprana, durante el periodo crítico de desarrollo de la visión, como consecuencia de disfunciones sensoriales asociadas fundamentalmente al estrabismo y errores refractivos.

Los tratamientos tradicionales de la ambliopía son monoculares, de estos, la oclusión es el tratamiento más aceptado y extendido. Sin embargo, existen numerosas evidencias sobre la importancia de la exposición binocular en el desarrollo de la visión y del rol primario de las disfunciones binoculares en la génesis de la ambliopía.¹ Por ejemplo, se ha reconocido la capacidad del cerebro para incorporar parte de la imagen del ojo suprimido, durante la combinación binocular en ambliopes estrábicos.² También se ha comprobado que en este tipo de ambliopía, al igual que la provocada por anisometropía, es posible lograr combinación binocular normal al balancear el desequilibrio de contraste intraocular.³ La hipótesis de que la supresión juega un rol primario en la ambliopía es apoyada por estudios que muestran correlación de la supresión con el deterioro de la agudeza visual⁴ y la estereopsia.⁵

Estos descubrimientos sugieren que la ambliopía es en esencia un problema binocular y que su tratamiento, contrario a lo que fomentan los tratamientos tradicionales, debe orientarse a promover la cooperación de ambos ojos y a reducir la supresión. Este nuevo enfoque permitiría mejorar las funciones binoculares y la agudeza visual del ojo ambliope, esta última como consecuencia del nuevo estado binocular. Según Hess et al.,⁶ serían necesarias tres actividades fundamentales para completar este tratamiento: reconocimiento de la capacidad de fusión, cuantificación de la supresión y reducción de la supresión.

Las pruebas clínicas establecidas para evaluar la supresión, están diseñadas generalmente para comprobar solamente su presencia. La evaluación de la supresión con un enfoque basado en contraste, permite obtener una medida cuantitativa a partir del reconocimiento del papel determinante del desequilibrio de contraste intraocular en este proceso. Se ha demostrado que si se reduce de forma artificial el contraste de la información recibida por el ojo sano, se puede llegar a un punto en el cual se logra combinación binocular y un mecanismo de visión binocular similar al de personas normales, en condiciones naturales de visión.^{7,8} Esta variación de contraste intraocular, requerida para lograr la combinación binocular, se conoce como punto de balance y se define como la medida cuantitativa de la supresión.

Para realizar la cuantificación de la supresión, se han utilizado tareas dicópticas de discriminación global de formas y tareas dicópticas de movimiento global. La supresión se asocia a deficiencias en el procesamiento de contornos⁹ y en la discriminación de formas,¹⁰ lo cual se refleja principalmente en la incompreensión de palabras, letras y caracteres. La supresión también afecta la capacidad de detectar la dirección coherente de movimiento,⁷ pues impide aprovechar la ganancia que ofrece la visión binocular en el procesamiento de movimiento global.¹¹

En ambas tareas, los estímulos se clasifican en señal y ruido, con un comportamiento uniforme y aleatorio respectivamente, y se presentan indistintamente a uno de los ojos. Esta presentación dicóptica permite evaluar la contribución de cada ojo en la detección de la señal. En personas con visión binocular normal, la decisión de cual ojo recibe la señal o el ruido, no influye significativamente en los resultados; sin embargo en pacientes con ambliopía, debido a la supresión, el desempeño del paciente será menor cuando se presente la señal al ojo ambliope.

El punto de balance se ha asociado al contraste relativo intraocular que permite alcanzar el mismo desempeño, cualquiera que haya sido la configuración dicóptica.^{7,12,13} En este método el objetivo es variar el contraste relativo hasta obtener un valor unitario para la razón de umbral dicóptico, la cual se define como la razón de rendimiento cuando se presenta la señal al ojo ambliope y el ruido al ojo adelfo, comparado con la configuración inversa.¹⁴ En otros estudios,^{8,15,16} el proceso de cuantificación se divide en dos etapas: evaluación del desempeño y cálculo del punto de balance. En la primera etapa, se determina el desempeño cuando se presenta tanto la señal como el ruido a ambos ojos. Luego, con una presentación dicóptica (la señal al ojo ambliope y el ruido al ojo adelfo), se mide el desequilibrio de contraste relativo requerido para lograr el mismo desempeño alcanzado en la etapa anterior.

La capacidad dicóptica es un requerimiento para cuantificar la supresión basada en contraste. Para satisfacer este requerimiento se han utilizado estereoscopios y cascos de Realidad Virtual. Estas tecnologías utilizan técnicas que permiten evitar la diafonía¹, pero requieren de sistemas de visualización relativamente caros. En esta investigación se utiliza la técnica de codificación cromática de imágenes descrita por Bundell et al.,¹⁷ para lograr la presentación dicóptica. Esta técnica es fácil de implementar y barata, sin embargo tiene como desventajas la incapacidad para representar imágenes a todo color, la presencia de diafonía¹⁸ y de rivalidad retiniana por color.¹⁹

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio piloto para evaluar la fiabilidad de la cuantificación de la supresión basada en contraste. Estudios previos han realizado este tipo de evaluación con resultados positivos; pero nunca en una aplicación que utilice una técnica de codificación cromática de imágenes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estímulo visual

Para el estudio se utilizó un kinematograma de puntos aleatorios (RDK por sus siglas en inglés) y una tarea dicóptica de procesamiento de movimiento global. El estímulo está compuesto por dos grupos de puntos en movimientos denominados señal y ruido que se presentan indistintamente a cada uno de los ojos como se ilustra en la figura 1. La señal está constituida por puntos que se mueven en una misma dirección, conocida como dirección coherente; aunque desde un punto de vista espacial, los puntos no solo se mueven en la misma dirección sino también en el mismo sentido. Por ejemplo, si los puntos se mueven en la dirección horizontal, todos lo harían a la izquierda o a la derecha. El ruido, por otra parte, está formado por puntos que se mueven en una dirección aleatoria. Los puntos de ambos grupos tienen la misma apariencia y se mueven a la misma velocidad. Las señales al salir del área de visualización se dibujan en el extremo opuesto; mientras que el ruido colisiona con los bordes del área de visualización y con cualquier punto, independientemente del tipo que sea. El proceso de colisión implementado evita el solapamiento de los estímulos y garantiza al mismo tiempo, sin alterar la rapidez, la aleatoriedad del movimiento del ruido; sin embargo incluye pistas de movimiento local al no afectarse la dirección de movimiento de la señal cuando colisiona con el ruido.

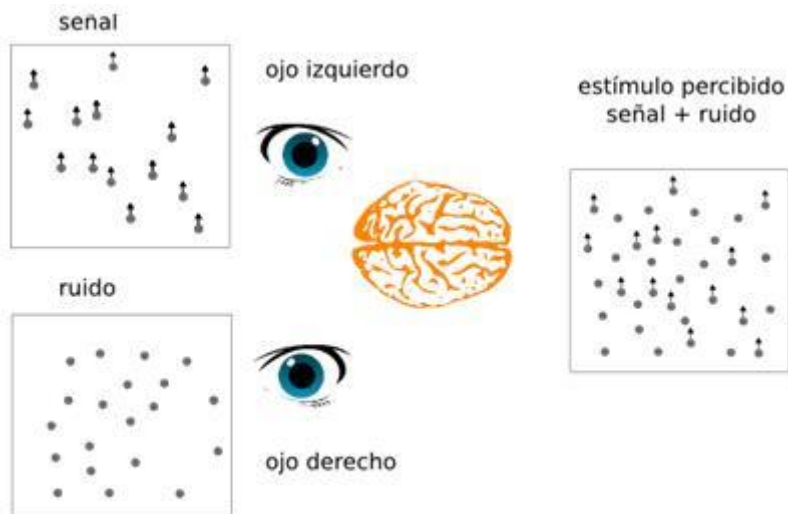


Fig. 1. Tarea dicóptica de movimiento global

El objetivo de la tarea de procesamiento de movimiento es determinar la dirección coherente, lo cual se dificulta por la presencia del ruido. La relación entre la cantidad de señal y ruido necesaria para realizar esta tarea se conoce como umbral de coherencia de movimiento, MCT por sus siglas en inglés. El MCT se calcula variando la proporción entre señal y ruido sin variar el total de estímulos.

$$MCT = \frac{\text{número de señales}}{\text{número de estímulos}}$$

Presentación dicóptica

Se utilizó una técnica de codificación cromática, basada en la división del espectro visible en dos canales, que permite superponer las imágenes dedicadas para el ojo izquierdo y derecho en una única imagen. Las imágenes dicópticas se codifican en canales de colores complementarios en el dispositivo de visualización. El observador tiene que usar gafas especiales que contengan filtros de colores, los cuales son los encargados de bloquear la imagen que no debe ser percibida por cada ojo².

En esta investigación se utilizaron gafas con un filtro rojo en el lente izquierdo y cian en el derecho. Los estímulos que deben ser percibidos por el ojo izquierdo se dibujan de color cian, mientras los dirigidos al ojo derecho se dibujan de color rojo. Los componentes de color de los estímulos tienen la misma intensidad que el fondo, el cual se dibuja de color gris. Como se muestra en la imagen izquierda de la figura 2, esta configuración permite que los estímulos de un color determinado (rojo o cian), sean percibidos de color negro a través del filtro complementario y se fusionen con el fondo cuando se observan a través del filtro del mismo color. Sin embargo, la presencia de la diafonía en esta técnica, provoca que los estímulos dedicados a un ojo, también sean percibidos con bajo contraste por el ojo adelfo. La imagen derecha de la figura 2 brinda un mejor acercamiento a lo que realmente percibe el paciente a través de las gafas anaglifas. Esta figura también muestra como el efecto de la diafonía es mayor a través del filtro rojo.

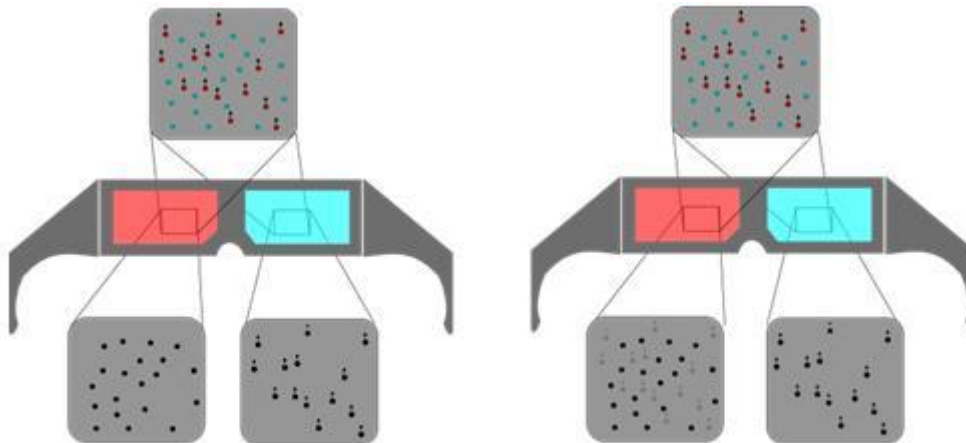


Fig. 2. Presentación dicóptica con técnica cromática

Procedimiento

Para cuantificar la supresión se utilizó la variante que comprende una etapa binocular y otra dicóptica y el desempeño se asoció al MCT. En la figura 3 se describe el proceso general para cuantificar la supresión, el cual incluye una tarea para cada etapa: "Cálculo del MCT" y "Cálculo del punto de balance" respectivamente. La tarea "Calibración cromática", constituye una tarea opcional, pero recomendada para mitigar la diafonía.

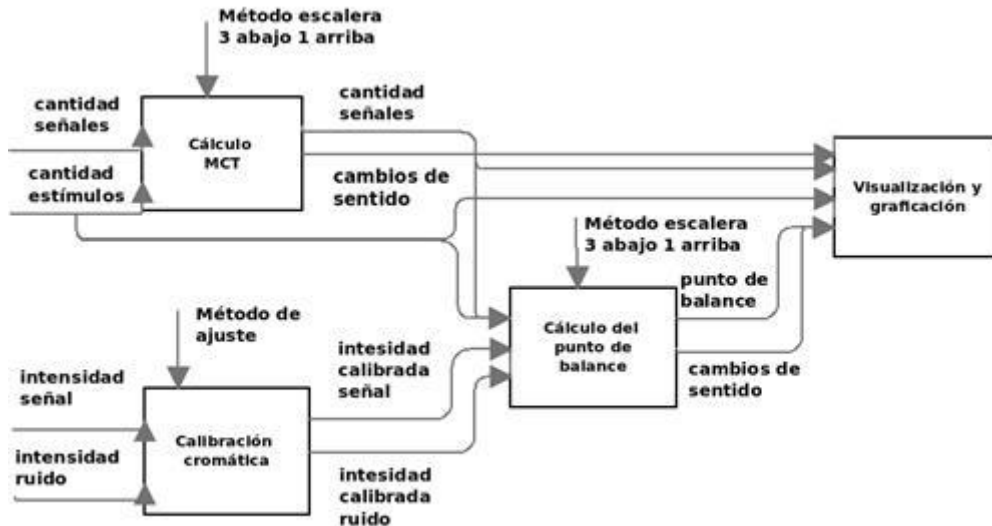


Fig. 3. Procedimiento para cuantificar la supresión

En el cálculo del MCT se utiliza el método adaptativo de la escalera en la variante 3 abajo-1 arriba. El usuario puede escoger entre cuatro opciones de la dirección coherente (arriba, abajo, izquierda, derecha) o puede indicar que no es capaz de percibir el movimiento global. Esta última opción también se interpreta como un fallo. Luego de tres aciertos consecutivos se disminuye la cantidad de señales en una cuarta parte de las señales existentes; mientras que ante un fallo, se incrementa la señal en una cuarta parte de los estímulos restantes. La tarea concluye cuando se alcanzan seis cambios de sentido. Los estímulos siempre son redibujados en posiciones aleatorias cuando el usuario escoge una nueva dirección. El MCT se obtiene a partir del promedio del desempeño alcanzado en los últimos tres cambios de sentidos.

En la etapa dicóptica el objetivo es el mismo: identificar el movimiento coherente; pero en vez de la cantidad de señales, se varía el contraste de la imagen presentada al ojo fijador a partir de la modificación de la opacidad del ruido. Al inicio se establece en cero el contraste de la imagen presentada al ojo fijador, lo cual garantiza que el sujeto puede percibir la dirección coherente. El contraste del ojo ambliope se mantiene fijo durante toda la tarea y el del ojo fijador se varía hasta determinar el punto de balance.

Para determinar el umbral de contraste también se utiliza el método de la escalera en la variante 3 abajo - 1 arriba. En este caso, ante los tres aciertos se incrementa el contraste en una cuarta parte del contraste restante y cuando ocurre un fallo se disminuye en una cuarta parte del contraste actual. La tarea concluye cuando se alcanzan ocho cambios de sentidos o 100 % de contraste. La segunda condición de terminación indica la ausencia de supresión. Al igual que en la etapa binocular, los estímulos se redibujan en posiciones aleatorias cuando el usuario escoge una nueva dirección. El punto de balance se obtiene a partir del promedio del contraste relativo alcanzado en los últimos cuatro cambios de sentidos.

En la figura 4 se muestran dos instantáneas de la interfaz principal de la aplicación desarrollada, que son representativas de la variante seleccionada para cuantificar la supresión.

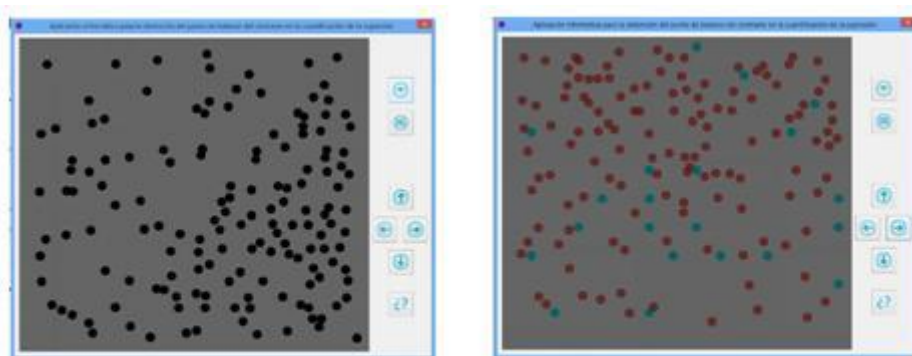


Fig. 4. Instantáneas de la interfaz principal de la aplicación. Etapa binocular (izquierda) y etapa dicóptica (derecha)

Experimento

Este estudio se realizó en la Escuela Especial Ernesto "Che" Guevara de la Serna, de la ciudad de Bayamo. El experimento realizado tiene importantes limitaciones en el tamaño y composición de la muestra. Solamente participaron ocho niños y cinco de ellos tenían la unidad de agudeza o cercana a esta, por lo que se puede considerar que ya no son ambliopes. Además solo dos reportaban supresión por la prueba de las cuatro luces de Worth. En la tabla 1 se encuentra los detalles clínicos de los individuos que participaron en el estudio.

Tabla 1. Detalles clínicos de los pacientes con ambliopía que participaron en el experimento. Las siguientes abreviaturas fueron utilizadas: AV por agudeza visual, OI por ojo derecho, OD por ojo izquierdo, ES por esotropía, ESF por dioptría esférica y ALT por supresión alterna

| Individuo | Edad | Ambliopía | Refracción | Estrabismo | Supresión | AV | Dominancia |
|-----------|------|--------------|-----------------------|------------|-----------|------|------------|
| AL | 8 | OI:- | +1.050 +0.50 *180° | - | OD | 0.9 | OI |
| | | OD: mixto | +2.00 ESF | ES 45° | | 0.05 | |
| CL | 8 | OI:- | -0.50 ESF | - | - | 1.0 | OD |
| | | OD:- | Plano | - | | 1.0 | |
| KT | 8 | OI:- | -8.00 -3.50 *180° | - | - | 0.6 | OD |
| | | OD:- | -7.00 -2.50 *150° | - | | 0.7 | |
| LA | 8 | OI:- | +0.50 +0.50 *90° | - | - | 1.0 | OD |
| | | OD:- | +1.25 +0.50 *90° | - | | 1.0 | |
| BL | 8 | OI:- | +3.75 -2.75 *35° | - | - | 1.0 | OD |
| | | OD:- | +3.75 -2.75 *155° | - | | 1.0 | |
| FK | 8 | OI:- | -11.00 -2.00 *166° | - | OI | 0.3 | OD |
| | | OD:- | -14.00 -2.50 *15° | - | | 0.3 | |
| IV | 8 | OI:- | +1.50 +0.75 *180° | - | ALT | 1.0 | OD |
| | | OD: mixto | +1.00 +0.75 *180° | ES 10° | | 1.0 | |
| LE | 8 | OI: mixto | +1.00 -2.00 *60° | ES 10° | - | 1.0 | OD |
| | | OD: - | +1.00 +1.75 *180° | - | | 1.0 | |

La aplicación se ejecutó en una computadora con procesador Celeron (R) a 2.93 GHz, 256 MB de memoria RAM, sistema operativo Window XP y monitor LCD Hanel modelo HN5005L con resolución de 1024x768. El RDK estuvo compuesto por 150 puntos de color negro, no solapados y con diámetro de 20 píxeles sobre un área de 720x640 píxeles, de color gris y 100 de intensidad.

Para la medición de la fiabilidad se utilizó el método "prueba-segunda prueba" y el coeficiente de spearman. La selección del método estuvo condicionada por la inexistencia de otra prueba clínica para cuantificar la supresión. Se incluyeron en el

estudio las mediciones del MCT y del punto de balance. Las pruebas a cada sujeto se realizaron con un tiempo de descanso intermedio de 5 minutos.

RESULTADOS

Todos los individuos que participaron en el estudio comprendieron el objetivo de la tarea; sin embargo, la falta de concentración, el agotamiento y aburrimiento, provocaron que en varias ocasiones escogieran incorrectamente la dirección coherente a pesar de percibir la señal. La aceptación de la tarea fue variable, siempre menor para la segunda prueba, aunque solamente hubo problemas de cooperación con el individuo AL. En la tabla 2 se muestran las mediciones del MCT y el punto de balance en los ocho individuos incluidos en el estudio. Los valores de cien para el punto de balance indican ausencia de supresión, mientras el valor cero representa supresión total.

Tabla 2. Mediciones del MCT y del punto de balance. Se utilizaron las siguientes abreviaturas: P1 por primera prueba, P2 por segunda prueba

| Individuo | MCT1 | MCT2 | PV1 | PV2 |
|-----------|------|------|-----|-----|
| AL | 0.44 | 0.57 | 0 | 0 |
| CL | 0.44 | 0.22 | 100 | 100 |
| KT | 0.30 | 0.29 | 100 | 100 |
| LA | 0.27 | 0.29 | 100 | 100 |
| BL | 0.32 | 0.23 | 100 | 100 |
| FK | 0.32 | 0.30 | 24 | 24 |
| IV | 0.26 | 0.19 | 100 | 100 |
| LE | 0.37 | 0.34 | 100 | 100 |

El individuo IV no pudo completar la calibración pues independientemente de la intensidad de los estímulos siempre percibía ambos tipos de estímulos. Al parecer esta situación es una consecuencia de la alternación de la supresión. En el resto fue necesario modificar la intensidad solamente de los estímulos rojos, en el rango de 100 - 109. La presencia de supresión en AL y FK fue evidente desde la propia calibración cromática, pues solo fueron capaces de percibir el estímulo visible por el ojo fijador cuando utilizaban ambos ojos.

La correlación entre las mediciones del MCT en la primera y segunda prueba fue positiva y relativamente moderada ($\rho = 0.372, p = 0.364$), mientras que para el punto de balance fue positiva y perfecta ($\rho = 1.00, p = 0.00$). La correlación positiva y moderada entre el promedio del MCT y el punto de balance ($\rho = -0.546, p = 0.162$), sugiere que los individuos con menor grado de supresión alcanzan mejor desempeño en la discriminación de movimiento global. La influencia de la supresión en la agudeza visual del ojo ambliope, parece ser mucho mayor, pues se encontró una correlación positiva alta entre estas variables ($\rho = 0.875, p = 0.004$).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos apoyan la teoría sobre la relevancia del desequilibrio de contraste intraocular en el fenómeno de la supresión. Además de la correlación significativa entre la agudeza visual y el grado de supresión, no se detectó supresión en ninguno de los individuos que no suprimía según la prueba de las cuatro luces de Worth.

De los ambliopes que participaron en el estudio, FK es particularmente interesante. Este individuo con una ambliopía severa e historial de supresión, fue capaz de lograr combinación binocular mientras el contraste de los estímulos presentados al ojo fijador, fuera inferior o igual al 24 % del contraste de los estímulos presentados al ojo ambliope. Sin embargo, es necesario corroborar la efectividad del método implementado, en ambliopes estrábicos con desviaciones muy pronunciadas, pues el individuo AL solo pudo rebasar la supresión cuando se bloquearon completamente los estímulos dirigidos al ojo fijador.

En general los resultados de la medición del MCT y el punto de balance fueron comprometidos por la falta de concentración de los individuos y por los problemas de aceptación de la tarea. A excepción de los individuos AL y CL, los valores del MCT fueron bastante similares en ambas pruebas. Si se descartan los resultados del MCT de estos individuos, la correlación entre ambas mediciones pasa de moderada a alta ($\rho = 0.735, p = 0.096$), aunque sigue sin ser significativa.

A pesar de las limitaciones del experimento, los resultados corroboran la fiabilidad de la cuantificación de la supresión basada en contraste y al mismo tiempo validan la utilización de una técnica cromática para la presentación dicóptica. En los trabajos posteriores se pretende construir el RDK sin la utilización de colisiones, para eliminar las pistas locales que permiten la detección del movimiento global. Además se valora la implementación de otros métodos psicofísicos adaptables y la construcción de las interfaces necesarias para establecer todos los parámetros del método implementado. En estudios futuros también se pretende analizar la influencia de la calibración cromática en el cálculo del punto de balance.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos apoyan la teoría sobre la relevancia del desequilibrio de contraste intraocular en el fenómeno de la supresión. Además de la correlación significativa entre la agudeza visual y el grado de supresión, no se detectó supresión en ninguno de los individuos que no suprimía según la prueba de las cuatro luces de Worth.

Los resultados de la medición del MCT y el punto de balance fueron comprometidos por la falta de concentración de los individuos y por los problemas de aceptación de la tarea. A excepción de los individuos AL y CL, los valores del MCT fueron bastante similares en ambas pruebas. Si se descartan los resultados del MCT de estos individuos, la correlación entre ambas mediciones pasa de moderada a alta ($\rho = 0.735, p = 0.096$), aunque sigue sin ser significativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Birch EE. Amblyopia and Binocular Vision. *Prog Tetin Eye Res* 2013;33:67-84.
2. Sireteanu R. The Binocular Visual System in Amblyopia. *Strabismus* 2000;8(1):39-52.
3. Mower GD, Christen WG, Burchfiel DF. Binocular summation of contrast remains intact in strabismic amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007;48.
4. Mitchell DE, Duffy KR. The case from animal studies for balanced binocular treatment strategies for human amblyopia. *Ophthalmic & Physiological Optics*. 2014;34:129-45.
5. Li J, Thompson B, Lam CSY, Deng D, Chan LY, Machara WG, et al. The role of suppression in amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011;52:4169-76.
6. Hess RF, Thompson B. New insights into amblyopia: Binocular therapy and noninvasive brain stimulation. *Journal of AAPOS*. 2013;17(1):89-93.
7. Mansouri B, Thompson B, Hess RF. Measurement of suprathreshold binocular interactions in amblyopia. *Vision Research*. 2008;48:2775-84.
8. Black JM, Hess RF, Cooperstock JR, To L, Thompson B. The Measurement and Treatment of Suppression in Amblyopia. *Journal of Visualized Experiments* [Internet] December 2012 [citado 18 agosto 2014]:(70). Disponible en: <http://www.jove.com/video/3927>
9. Levi DM, Yu C, Kuai S, Rislove E. Global contour processing in amblyopia. *Vision Research*. 2007;47:512-24.
10. Mansouri B, Hess RF, Allen HA, Dakin SC. Integration, segregation, and binocular combination. *Journal of the Optical Society of America A* 2005;22(1):38-48.
11. Hess RF, Hutchinson CV, Ledgeway T, Mansouri B. Binocular influences on global motion processing in the human visual system. *Vision Research* 2007;47:1682-92.
12. Hess RF, Mansouri B, Thompson B. A new binocular approach to the treatment of Amblyopia in adults well beyond the critical period of visual development. *Restorative Neurology and Neuroscience* 2010;28:793-802.
13. Hess RF, Mansouri B, Thompson B. Restoration of Binocular Vision in Amblyopia. *Strabismus* 2011;19(3):110-8.
14. Hess RF, Mansouri B, Thompson B. A Binocular Approach to Treating Amblyopia: Antisuppression Therapy. *Optometry and Vision Science* 2010;87(9):697-704.

15. Vitali A, Facoetti G, Gargantini A. An Environment for Contrast-Based Treatment of Amblyopia Using 3D Technology. International Conference on Virtual Rehabilitation 2013 [Internet] [citado 17 julio 2014]. Disponible en: http://cs.unibg.it/gargantini/research/papers/ICVR_2013.pdf
16. Narasimhan S, Harrison ER, Giaschi DE. Quantitative measurement of interocular suppression in children with amblyopia. Vision Research 2012;66:1-10.
17. Blundell BG. An Introduction to Computer Graphics Creative 3-D Environments. London: Springer 2008.
18. Woods AJ, Yuen KL, Karvinen KS. Characterizing crosstalk in anaglyphic stereoscopic images on LCD monitors and plasma displays. Journal of the Society for Information Display 2007;15(11):889-98.
19. Sanftmann H, Weiskopf D. Anaglyph Stereo Without Ghosting. Eurographics Symposium on Rendering 2011.

¹ En este contexto se refiere a que el ojo izquierdo perciba elementos que estaban pretendidos para el ojo derecho y viceversa.

² En la construcción de sistemas de visualización 3D, tanto esta técnica como las gafas se conocen como anaglifo.

Recibido: 2 de octubre de 2015.

Aprobado: 5 de noviembre de 2015.