



SISTEMA DE REHABILITACIÓN DE AMBLIOPÍA POR MEDIO DE SEGUIMIENTO OCULAR: VIRERSYS

Daya Serrano Delgado, Sergio David Pulido Castro

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Bogotá, Colombia**

Resumen

La ambliopía es una patología visual que se caracteriza por la deficiencia de la agudeza visual en un ojo. Esta patología es causada por alteraciones en la corteza visual (encontrada en el lóbulo occipital) que causan una mala comunicación entre el cerebro y el ojo afectado. Este problema se desarrolla en la infancia y es una de las principales causas de visión reducida. El tratamiento tradicional de rehabilitación de ambliopía se basa en ocluir temporalmente el ojo sano, de forma que se entrene el ojo afectado en actividades de la vida diaria. Se ha demostrado que este tratamiento es muy efectivo en niños; sin embargo, cuando el problema persiste en la adultez, el tratamiento tradicional no genera mejoras permanentes. Estudios recientes muestran la efectividad de utilizar tratamientos con enfoque binocular (uso de ambos ojos) para rehabilitar ambliopía en adultos. Un componente principal en la rehabilitación es mantener el interés del paciente, de forma que siga realizando los tratamientos necesarios que permiten corregir su patología. Por este motivo, se propone el desarrollo de un sistema de rehabilitación de ambliopía con enfoque binocular basado en el uso de un videojuego. Este videojuego se enfoca en corregir tres características principales de la ambliopía: bajo desempeño sacádico, baja estabilidad de fijación y seguimiento incorrecto de trayectorias. Se busca evaluar cada característica por medio de un escenario diferente en el videojuego. Se realizó un estudio piloto que pretendía probar la funcionalidad del sistema diseñado y observar resultados en el videojuego de sujetos sanos. Para tal estudio se reclutaron 5 sujetos sanos, con edades entre 18 y 24 años, a los cuales se les pidió probar durante cierto tiempo cada uno de los escenarios del videojuego y expresar sus opiniones al respecto. Los resultados obtenidos en las pruebas piloto fueron positivos y permitieron realizar mejoras en el sistema diseñado. Finalmente, se proponen los cambios a realizar en el sistema para su uso en pacientes con ambliopía.

Palabras clave: ambliopía; enfoque binocular; rehabilitación visual

Abstract

Amblyopia is a visual pathology characterized by the deficiency of visual acuity in one eye. This pathology is caused by alterations in the visual cortex (located in the occipital lobe) which causes bad communication exists between the brain and the affected eye. This issue is developed in childhood and is one of the principal causes of reduced vision. The traditional rehabilitation treatment of amblyopia is based on temporally occluding the healthy eye, thus, training the affected eye with daily life activities. It has been demonstrated that this treatment is very effective in children, however, when the problem persists in adulthood, the traditional treatment does not generates permanent improvement. Recent studies show the effectiveness of using binocular approach treatments (use of both eyes) to rehabilitate amblyopia in adults. A principal component in rehabilitation is keeping the interest of the patient, so that he keeps doing the necessary treatments that allow the correction of the pathology. For this reason, it is proposed the development of an amblyopia rehabilitation system with binocular approach based on the use of a videogame. This videogame focuses on the correction of three main characteristics of amblyopia: low saccadic performance, low fixation stability and incorrect trajectory tracing. Each characteristic is corrected by means of a different stage in the videogame. A pilot experiment was made with the purpose of testing the functionality of the designed system and observing the results in the videogame of healthy subjects. For the study, 5 healthy subjects were recruited, with ages between 18 and 24 years, which were asked to test every stage of the videogame for a certain time and state their opinions about them. The obtained results in the pilot experiment were positive and allowed to carry out improvements in the designed system. Lastly, it is detailed the changes to make in the system for its use in patients with amblyopia.

Keywords: amblyopia; binocular approach; visual rehabilitation

1. Introducción

La ambliopía es una patología caracterizada por una deficiencia en la agudeza visual en uno de los ojos, como consecuencia de un trastorno del desarrollo visual. La agudeza visual consiste en la capacidad de ver en detalle las cosas que nos rodean. Dicha capacidad depende del funcionamiento normal y coordinación entre los ojos y el cerebro (Gutiérrez, 2006). En la ambliopía no existen alteraciones anatómicas de la retina ni del nervio óptico; se produce como consecuencia de falta de estimulación visual adecuada durante el período crítico de desarrollo visual, lo que afecta a los mecanismos neuronales encargados de la visión (Solanes et al., 1997).

Esta patología es uno de los trastornos visuales más comunes presentes en la población. Según la organización Mundial de la Salud (OMS), la prevalencia de la

ambliopía en el mundo está en el rango del 1% al 5% (American Academy of Ophthalmology, 2015). Según lo mencionado anteriormente, la población que necesita de tratamientos visuales para rehabilitación de ambliopía es importante.

Existe un principio básico actualmente utilizado para el tratamiento de ambliopía. Este principio se basa en limitar la visión del ojo sano con el objetivo de que el ojo afectado se estimule. En la actualidad hay dos tratamientos basados en este principio que son comúnmente utilizados: Tratamiento por oclusión y tratamiento farmacéutico. El tratamiento por oclusión inhabilita el ojo funcional por medio de un parche (Tailor et al., 2015), mientras que el tratamiento farmacéutico se basa en aplicar gotas de atropina en el ojo sano una vez al día, nublando su visión (Vedamurthy et al., 2015). Sin embargo, de acuerdo con varios estudios, este tratamiento no es efectivo una vez que se alcanza la etapa crítica del desarrollo visual; el cual se da en el rango de 6 a 8 años de edad (Chen, 2007; R. F. Hess et al., 2010; Robert F. Hess et al., 2010). Teniendo en cuenta el gran número de personas adultas que sufren de esta patología visual, y que el tratamiento actualmente utilizado no es efectivo en estas personas, es importante investigar y desarrollar sistemas que permitan rehabilitar adultos, que sean efectivos, innovadores y que mejoren el compromiso con la terapia.

Por los motivos expuestos, se propuso un sistema en el cual el paciente hace uso de un videojuego. Éste es controlado completamente por los ojos de la persona y finalmente, un asistente virtual brinda realimentación auditiva al paciente. El juego se elaboró de forma que satisfaga los objetivos de rehabilitación de ambliopía. El videojuego cuenta con tres distintos escenarios, y cada uno está enfocado en rehabilitar un diferente aspecto de la ambliopía. Los tres aspectos en los que se enfoca este sistema son: desempeño sacádico, estabilidad de fijación y simetría entre movimiento del ojo y el estímulo brindado.

2. Metodología

El sistema de rehabilitación visual se diseñó a partir de un enfoque binocular; en el cual tanto el ojo afectado por la patología como el ojo sano participan en la rehabilitación visual. Estudios han demostrado la eficiencia de implementar un sistema en el cual ambos ojos hagan parte del mismo; ya que este principio causa disminución en la supresión de imágenes e incremento de la agudeza visual (Chen, 2007).

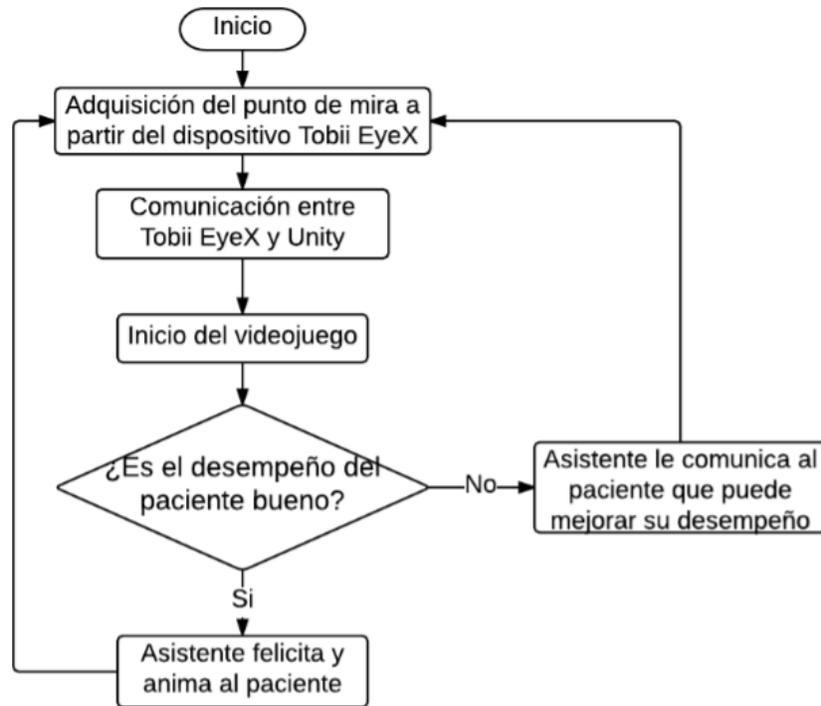


Figura 1. Diagrama general del sistema diseñado.

La Figura 1 muestra el diagrama general del sistema de rehabilitación visual. El seguimiento ocular (eye tracking) se realiza a través del equipo Tobii EyeX. Para el uso de este equipo es importante realizar un proceso de calibración en cada sujeto, en el cual se tiene en cuenta si el sujeto usa lentes de contacto o gafas. Este proceso de calibración asegura que la información (coordenadas del punto de mira ó gaze) obtenida por el equipo tenga mayor precisión y exactitud ("Getting Started With the Tobii EyeTracking SDK for Unity 5," 2014). El equipo no permite el acceso a la señal cruda, es decir las coordenadas del punto de vista sin ningún tipo de procesamiento. De igual forma, el equipo no permite acceso a las coordenadas individuales de cada ojo, ya que entrega un promedio de las coordenadas de ambos ojos.

Una vez calibrado el equipo, es importante tener acceso a las coordenadas del punto de vista del sujeto y que esta información esté en Unity. Para ello se utiliza el SDK (kit de desarrollo) de Tobii para Unity; el cual es de uso libre para clientes de Tobii. Este software funciona como una librería que se adiciona a cualquier proyecto de Unity y permite obtener el punto de enfoque del sujeto. De igual forma, contiene una herramienta que permite indicar cual objeto dentro del juego está siendo observado.

El videojuego está compuesto de diferentes escenarios, diseñados para evaluar y estimular tres aspectos: Desempeño sacádico, estabilidad de fijación y simetría entre el movimiento del ojo y el estímulo.

El desempeño sacádico se refiere a un tipo de movimiento ocular, llamado movimiento sacádico, el cual es un movimiento discreto ocular pre-programado que

desplaza la fovea (parte central de la retina), responsable de la agudeza visual desde un punto de fijación a otro (Vedamurthy et al., 2015). Este parámetro se evalúa al disponer un objeto en la interfaz, midiendo el tiempo que tarda el sujeto en observar.



Figura 2. Interfaz gráfica del escenario para corregir bajo desempeño sacádico.

El escenario que fue diseñado para evaluar el desempeño sacádico se observa en la Figura 2. El dragón que se observa en la Figura 2 se controla con el movimiento de los ojos del paciente. El objetivo del escenario es mover al dragón y alcanzar la carne que está dispuesta en la escena. Esto se debe hacer en el menor tiempo posible con el objetivo de disminuir la latencia que tiene el paciente en captar una imagen en la interfaz, de esta manera se mejora el desempeño sacádico del paciente. En la interfaz, se puede observar la latencia obtenida la última vez que obtuvo la carne, y la mejor latencia.

La estabilidad de fijación se refiere a la capacidad del paciente de enfocar su mirada en un objeto. Este parámetro se medirá por medio de la varianza de las coordenadas del punto de vista del paciente en una ventana de tiempo de 1s. Para evaluar la estabilidad de fijación, se diseña el escenario mostrado en la Figura 3, donde se observa una luna en el centro de la pantalla. El objetivo del juego es que el paciente concentre su mirada en este objeto, de otra manera su estabilidad de fijación disminuirá. Para ello se midió la varianza de la coordenada del punto de enfoque en una ventana de tiempo de 1s.



Figura 3. Interfaz gráfica del escenario para corregir baja estabilidad de fijación.

La simetría entre el movimiento del ojo y el estímulo, por otro lado, se refiere a qué tan semejantes son las trayectorias del punto de mira del ojo y una trayectoria definida en una interfaz, cuando el sujeto la está siguiendo. La interfaz diseñada se muestra en la Figura 4, donde se observa que se disponen varias estrellas aleatoriamente, y a partir de un rayo se marca la trayectoria. El objetivo del juego es seguir la trayectoria (con el movimiento de los ojos) marcada por las estrellas, sin salirse de la trayectoria y en el orden correcto. Para evaluar la simetría entre el movimiento del ojo y el estímulo, se midió dos tipos de errores. El primer error es el error de objetivo, el cual cuenta las veces que el paciente fija su mirada en espacios que de la interfaz que no pertenecen a la trayectoria. Por otro lado, se tiene el error de trayectoria, el cual mide las veces en las que el usuario mira estrellas que pertenecen a la trayectoria, pero no en el orden correcto. A través de estos errores se evalúa la simetría entre el movimiento de ojo y el estímulo.

El desempeño del sujeto se mide con base en los tres escenarios y el progreso es personalizado. Esto significa que, al jugar por primera vez, el sistema guarda los datos del sujeto, y los usa como punto base para nuevas pruebas, siempre buscando que el sujeto mejore su puntaje. Por este motivo, el sistema también es personalizado, ya que cada sujeto cuenta con un usuario y una contraseña, de forma que la rehabilitación es personalizada.



Figura 4. Interfaz gráfica del escenario para corregir seguimiento incorrecto de trayectorias.

3. Pruebas preliminares con sujetos sanos

Se realizaron pruebas preliminares con el objetivo de probar, analizar y encontrar posibles fallos en el uso del video juego. Para estas pruebas, cinco sujetos sanos fueron reclutados. Los criterios de inclusión para la prueba experimental fueron: Hombres y mujeres sanos, que pertenezcan al rango de edad de 18 a 24 años y voluntarios. Por otro lado los criterios de exclusión para el estudio son: Personas que hayan sido diagnosticadas alguna enfermedad motora o neuronal, o cualquier otra patología que afecte su agudeza visual, personas que se encuentren bajo el efecto de bebidas embriagantes o cualquier tipo de sustancia alucinógena, y por último se excluyó a personas con cualquier tipo de discapacidad cognitiva, incapaces de participar en el estudio bajo su propia voluntad. Se realizaron 3 pruebas por cada sujeto; una por cada parámetro a evaluar (Desempeño sacádico, estabilidad de fijación y simetría entre el movimiento del ojo y el estímulo).

Con el objetivo de evaluar el diseño del sistema de rehabilitación visual, posterior a las pruebas experimentales, se procedió a encuestar a los sujetos, de modo que se obtuviera información acerca de la experiencia del sujeto con el uso del videojuego. Esto, con el objetivo de encontrar posibles fallos del sistema, y evaluar la interacción usuario-sistema. Las preguntas realizadas a los sujetos son las siguientes: De forma general, ¿Cómo se sintió usando el videojuego?, ¿Qué críticas tiene respecto a cada escenario?

4. Resultados preliminares

Hasta el momento, los resultados del proyecto son satisfactorios, ya que durante las pruebas piloto se logró confirmar el buen funcionamiento del juego. De igual forma se observó que el juego es lo suficientemente sencillo para que los sujetos sanos no tengan que realizar demasiado esfuerzo para cumplir los objetivos planteados. Esto

es importante, ya que se espera que los pacientes que sufren de ambliopía tengan un reto en el juego; sin embargo, durante la rehabilitación, al haber mejorías, el juego debe ser más sencillo de jugar. Otro detalle de interés es que los sujetos sanos, aunque no tuvieran el deseo de rehabilitar algún problema visual, tenían interés en mejorar su récord personal en cada uno de los niveles, demostrando que el juego puede llegar a ser estimulante, tal como fue propuesto.

Aunque en el momento únicamente se tienen resultados cualitativos provenientes de los voluntarios que participaron en las pruebas piloto, el propósito final del proyecto busca la obtención de resultados cuantitativos, donde se detalle la latencia, simetría de movimiento entre el ojo y el estímulo y la varianza, según el nivel jugado, respectivamente. Para lograr este objetivo, se deben realizar pruebas más extensas y detalladas con sujetos sanos. Por este motivo se desea realizar una evaluación con aproximadamente 15 sujetos sanos, con edades de 18 a 40 años. El número de sujetos y el rango de edad se escogen con base en investigaciones anteriores donde se buscó rehabilitar ambliopía en adultos por distintos métodos (R. F. Hess et al., 2010; Spiegel et al., 2013; To et al., 2011). Los criterios de inclusión y exclusión para los sujetos que participen en el estudio, son los mismos que aquellos que fueron establecidos para las pruebas preliminares ya realizadas. En este estudio se busca obtener desempeño sacádico, estabilidad de fijación y seguimiento de trayectorias estándar para sujetos sanos, para poder evaluar, así como se diferenciarían estos valores con aquellos de las personas que sufren de ambliopía.

5. Validación clínica

Con el objetivo de evaluar el sistema de rehabilitación visual diseñado, es necesario hacer un análisis no sólo de la experiencia que tiene el sujeto con el sistema, sino de parámetros visuales que indiquen el mejoramiento de la agudeza visual del sujeto a partir del sistema de rehabilitación visual diseñado. Para ello es necesario establecer un protocolo experimental que permita evaluar el sistema con pacientes que se les haya diagnosticado ambliopía. A continuación, se describe el protocolo experimental que se quiere llevar a cabo.

Los criterios de inclusión para los sujetos participantes del estudio son: Hombres y mujeres voluntarias, diagnosticadas con ambliopía estrábica, pertenecientes al rango de edad de 18 a 40 años. Adicionalmente, los criterios de exclusión establecen hombres y mujeres diagnosticados con cualquier tipo de ambliopía diferente a la estrábica y/o con cualquier tipo de discapacidad neuronal.

Se propone realizar 20 sesiones de rehabilitación con los pacientes seleccionados, con una frecuencia aproximada de una sesión cada 24 horas. El número de sesiones de rehabilitación visual, y la frecuencia de rehabilitación fueron establecidos de acuerdo a estudios anteriores (Thin, 2012; Vedamurthy et al., 2015). Se espera que la función que describe el desempeño de los pacientes, al usar el sistema de rehabilitación; tenga una pendiente positiva, lo cual indica que, a través de cada sesión, el paciente mejora sus habilidades visuales, y por lo tanto su desempeño será

mejor. El mejoramiento del desempeño del paciente será medido partir de 3 parámetros: cambios en el desempeño sacádico, cambios en la estabilidad de fijación y cambios en el desempeño al seguir trayectorias, cuya medida se realiza durante la rehabilitación. Mejorar el desempeño en el videojuego de cada paciente se puede relacionar directamente con una mejora en la agudeza visual

6. Referencias

Artículos de revistas

- Hess, R. F., Mansouri, B., & Thompson, B. (2010). A new binocular approach to the treatment of amblyopia in adults well beyond the critical period of visual development. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 28(6), 793–802. <https://doi.org/10.3233/RNN-2010-0550>
- Hess, R. F., Mansouri, B., & Thompson, B. (2010). A binocular approach to treating amblyopia: antisuppression therapy. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 87(9), 697–704. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181ea18e9>
- Spiegel, D. P., Li, J., Hess, R. F., Byblow, W. D., Deng, D., Yu, M., & Thompson, B. (2013). Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Recovery of Stereopsis in Adults With Amblyopia. *Neurotherapeutics*, 10(4), 831–839. <https://doi.org/10.1007/s13311-013-0200-y>
- Tailor, V. K., Glaze, S., Khandelwal, P., Davis, A., Adams, G. G. W., Xing, W., ... Dahlmann-Noor, A. (2015). Prescribed computer games in addition to occlusion versus standard occlusion treatment for childhood amblyopia: a pilot randomised controlled trial. *Pilot and Feasibility Studies*, 1. <https://doi.org/10.1186/s40814-015-0018-y>
- Thin, A. G. (2012). A Game-Based Virtualized Reality Approach for Simultaneous Rehabilitation of Motor Skill and Confidence. *Advances in Human-Computer Interaction, 2012*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2012/213143>
- To, L., Thompson, B., Blum, J. R., Maehara, G., Hess, R. F., & Cooperstock, J. R. (2011). A game platform for treatment of amblyopia. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering: A Publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 19(3), 280–289. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2011.2115255>
- 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 Research*, 114, 173–187. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.04.008>

Libros

- Gutiérrez, A. L. T. (2006). *Atención Al Educando Ciego O Con Deficiencias Visuales*. EUNED.

- Solanes, J. B., Hernández, M. C., & Pediatría, A. E. de. (1997). *Manual del residente de pediatría y sus áreas específicas: guía formativa*. Asociación Española de Pediatría.

Fuentes electrónicas

- Chen, R. S. (2007). *Effects of long -term memory accessibility on saccadic eye movements*. CITY UNIVERSITY OF NEW YORK. Retrieved from <http://gradworks.umi.com/32/78/3278422.html>
- Getting Started With the Tobii EyeTracking SDK for Unity 5. (2014, November 21). Retrieved June 23, 2017, from <http://developer.tobii.com/getting-started-tobii-eyex-sdk-for-unity/>
- Introduction to Amblyopia - American Academy of Ophthalmology. (2015, October). Retrieved June 23, 2017, from <https://www.aao.org/pediatric-center-detail/amblyopia-introduction>

Sobre los Autores

- **Sergio David Pulido Castro:** Ingeniero Biomédico (e), Universidad del Rosario, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. sergio.pulido@mail.escuelainq.edu.co
- **Daya Serrano Delgado:** Ingeniera Biomédica (e), Universidad del Rosario, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. daya.serrano@mail.escuelainq.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)