
Análisis del uso de la Potencia Óptica de Lentes Electrónicos Controlados por Señales biológicas: Un Enfoque Cuantitativo de Fatiga Ocular

William Gómez Roa
wa.gomez@javeriana.edu.co
Bioingeniería y Ciencia de Datos

El presente diseño experimental tiene como objetivo evaluar la influencia del brillo de una pantalla digital y del tiempo de visualización sobre la fatiga visual digital (FVD). El problema específico que se busca abordar es determinar el efecto de estos factores sobre la variable respuesta, la cual está relacionada con la FVD.

La fatiga visual digital, al ser una medida con un componente altamente subjetivo debido a factores psicológicos, puede ser considerada como una **variable latente**, es decir, una variable que no puede medirse directamente. Por este motivo, utilizamos variables cuantitativas para obtener una aproximación objetiva de la FVD. Estas medidas incluyen: el diámetro pupilar (Φ), el número de parpadeos en un tiempo determinado, el porcentaje de completación de cada parpadeo y el índice de respuesta ocular.

En este experimento, la principal variable respuesta será la diferencia en el diámetro pupilar ($\Delta\Phi$), calculada como la resta entre el diámetro pupilar al final del experimento y al inicio del mismo. Esto nos permitirá evaluar de manera objetiva el efecto de los dos factores seleccionados: el brillo de la pantalla y la duración de la exposición. Se asignarán dos niveles a cada uno de los factores del problema, y las mediciones se realizarán con 8 participantes. Cada combinación posible de los factores será evaluada dos veces y asignada de manera aleatoria, siguiendo un esquema de **aleatorización simple**.

Además, se incluirá una segunda variable respuesta: el diámetro de los lentes electrónicos utilizados durante la prueba. Esto permitirá evaluar si existe una relación entre la potencia óptica de los lentes y la fatiga visual digital. Este enfoque asegura un análisis más completo sobre cómo estas variables interrelacionadas contribuyen a la FVD.

Objetivos

El objetivo principal es diseñar y realizar un experimento que permita determinar si existe un cambio significativo en la potencia óptica de lentes electrónicos y en el diámetro pupilar después de una exposición prolongada a una pantalla digital, evaluando la fatiga visual mediante un ANOVA de medidas repetidas con dos factores: **brillo** y **tiempo de exposición**.

Antecedentes del Problema

El uso prolongado de pantallas digitales ha sido identificado como un factor que contribuye a la fatiga visual digital (FVD). Estudios previos han explorado sistemas de lentes electrónicos controlados por señales biológicas, diseñados para ajustar su curvatura óptica en respuesta a las necesidades del usuario. Este proyecto busca cuantificar si, tras la exposición a pantallas durante periodos prolongados, los lentes electrónicos presentan cambios en su potencia óptica como consecuencia de la FVD. Además, se analizará cómo los factores brillo y tiempo de exposición influyen en esta condición.

Descripción de los Datos y su Origen

Los datos serán recolectados de un experimento diseñado con 8 participantes. Se registrarán las siguientes variables:

- **Potencia Óptica de los Lentes (Izquierdo y Derecho):** Medida en dioptrías antes y después de la exposición para evaluar posibles ajustes relacionados con la fatiga visual.
- **Diámetro de la Pupila:** Diferencia en el diámetro pupilar ($\Delta\Phi$), calculada como el cambio entre el inicio y el final del experimento. Esta variable será medida a través de grabaciones de video durante el experimento.
- **Brillo:** Nivel de luminosidad de la pantalla, con dos niveles predefinidos: alto y bajo.
- **Tiempo de exposición:** Periodo durante el cual cada participante estará expuesto a la pantalla, con dos niveles: 45 minutos y 1 hora.

Variables de Control y de Respuesta

Variables de control:

- **Brillo:** Dos niveles (alto y bajo).
- **Tiempo de exposición:** Dos niveles (45 minutos y 1 hora).

Variables de Respuesta

- **Diámetro de la Pupila:** Se medirá la diferencia en el diámetro pupilar ($\Delta\Phi$), calculada como el tamaño de la pupila al final del experimento menos su tamaño al inicio. Esta medida permitirá evaluar el efecto de los factores experimentales.

Variables Constantes Durante el Experimento

- **Distancia de enfoque:** La distancia entre los ojos del participante y la pantalla digital será fija para todos los participantes.
- **Ángulo de la cabeza:** Se busca que la posición de la cabeza con respecto a la pantalla se mantenga constante durante el experimento.
- **Brillo:** El brillo de la pantalla tendrá dos niveles (alto y bajo), que permanecerán constantes durante toda la prueba de cada participante.
- **Tiempo de exposición:** Los tiempos serán de 45 minutos o 1 hora, según el nivel asignado al participante.
- **Lectura:** Todos los participantes verán el mismo texto, con el mismo tipo y tamaño de letra.

Posibles Factores Perturbadores

- **Día y hora:** Pueden influir en el estado de alerta de los participantes y en las condiciones ambientales (luz, ruido).
- **Cansancio previo:** El nivel de fatiga inicial de los participantes puede afectar las mediciones.
- **Condiciones ambientales:** Factores como temperatura, ruido o comodidad podrían alterar la concentración de los participantes.

Interacciones Posibles entre Variables

- **Brillo y diámetro pupilar:** El brillo alto puede causar una mayor constricción pupilar.
- **Tiempo de exposición y fatiga visual:** Un mayor tiempo de exposición incrementa la fatiga.
- **Brillo y fatiga visual:** Niveles altos o inadecuados de brillo pueden aumentar la fatiga visual digital.

Restricciones del Experimento

- **Duración:** Cada participante estará expuesto durante un máximo de 1 hora.
- **Número de participantes:** El experimento contará con un mínimo de 8 participantes.

Diseño Experimental

El experimento utiliza un diseño factorial completo con dos factores principales:

- **Brillo:** Dos niveles (alto y bajo).
- **Tiempo de exposición:** Dos niveles (45 minutos y 1 hora).

Cada combinación de los factores será evaluada con los 8 participantes, con dos repeticiones para cada combinación. Esto asegura un total de 16 pruebas por participante. La variable principal a medir será la diferencia en el diámetro pupilar ($\Delta\Phi$), calculada como la diferencia entre el diámetro al final y al inicio del experimento.

La aleatorización será utilizada para determinar el orden de las pruebas y minimizar el efecto de posibles sesgos externos, como el cansancio acumulado. Este diseño permite analizar el efecto de los factores y sus interacciones utilizando un análisis ANOVA.

Resultados

Se llevó a cabo un experimento factorial completo con 8 participantes para evaluar el efecto del brillo de la pantalla (**A**) y el tiempo de exposición (**B**) sobre el cambio en el diámetro pupilar ($\Delta\Phi$). Cada factor tuvo dos niveles:

- **Brillo (A):** Alto (1) y Bajo (0).
- **Tiempo de exposición (B):** 1 hora (0) y 45 minutos (1).

La variable respuesta fue la diferencia en el diámetro pupilar al final e inicio del experimento.

Principales hallazgos

- **Efecto del brillo (A):** El brillo tuvo un efecto altamente significativo sobre el cambio pupilar ($p = 8.22 \times 10^{-5}$). Los participantes expuestos a brillo alto mostraron una contracción pupilar más pronunciada en comparación con aquellos expuestos a brillo bajo.
- **Efecto del tiempo (B):** El tiempo de exposición presentó un efecto marginalmente significativo ($p = 0.0556$). Los tiempos más largos tendieron a asociarse con una mayor contracción pupilar.

- **Interacción entre brillo y tiempo (A×B):** No se encontró una interacción significativa ($p = 0.5264$), lo que indica que los efectos del brillo y el tiempo son independientes entre sí.

Los gráficos de interacción y los diagramas de caja apoyan estos resultados, mostrando que el brillo es el factor dominante que afecta el cambio pupilar, mientras que el tiempo tiene un impacto menos pronunciado.

Análisis

Los resultados confirman que el **brillo de la pantalla** es el principal factor que influye en la contracción pupilar. Un brillo alto provoca un mayor esfuerzo ocular, resultando en una contracción más significativa de la pupila. Esto es coherente con la fisiología ocular, donde una mayor intensidad lumínica induce una respuesta pupilar para proteger la retina.

El **tiempo de exposición** también afecta el cambio pupilar, aunque de forma menos contundente. Un tiempo prolongado puede incrementar la fatiga visual, contribuyendo adicionalmente a la contracción pupilar. Sin embargo, dado que no hay interacción significativa entre brillo y tiempo, se deduce que cada factor actúa de manera independiente en su influencia sobre la respuesta pupilar.

Estos hallazgos tienen implicaciones prácticas para reducir la fatiga visual digital:

- **Control del brillo:** Ajustar el brillo de las pantallas a niveles adecuados puede mitigar el impacto negativo en el sistema visual.
- **Gestión del tiempo de exposición:** Limitar el tiempo continuo de exposición a pantallas, o implementar descansos periódicos, puede ayudar a reducir la fatiga ocular.

Ver el **Reporte de análisis y resultados del experimento sobre brillo y tiempo de exposición** adjunto en el anexo, para un análisis detallado y los gráficos que respaldan estos resultados.