

Introducción a la óptica fisiológica

Cedric Prieels
Diciembre 2016

Resumen

Esta práctica era una introducción a la óptica fisiológica. El primer día, vimos algunos conceptos importantes de teoría y aprendimos las bases del funcionamiento del ojo humano como sistema óptico. El segundo día, visitamos una clínica oftalmológica en el CCM, en Mompia, para poder observar y entender el funcionamiento de diferentes instrumentos utilizados para diagnosticar y tratar defectos y/o enfermedades del ojo. Por fin, el último día, hicimos con Matlab unas simulaciones del ojo humano, para generar diferentes diagrama de impacto y simular diferentes problemas (miopía, hipermetropía) para calcular la lente a aplicar para volver a tener una visión normal.

1. Introducción teórica

En esta práctica, estudiamos el ojo como sistema óptico. El ojo es un sistema muy potente para convertir señales y excitaciones del exterior a una señal eléctrica, transmitida al cerebro, capaz de interpretarla. Básicamente, el ojo está compuesto de diferentes partes que tienen cada una una importancia particular para la vista. Las partes más importantes son las siguientes :

- **La cornea y el cristalino.** La cornea y el cristalino son dos lentes que constituyen la primera capa del ojo. Los dos tienen un índice de refracción próximo al del agua, y permiten enfocar la luz hacia la retina. El cristalino es el responsable de la acomodación del ojo : cambiando su forma por la acción de músculos ciliares, permite ver objetos cercanos y más lejos.
- **La retina.** Es la capa del ojo que permite convertir señales luminosas a señales eléctricas. Está compuesta de conos (para la visión diurna en color) y de bastones (para la visión nocturna y periférica en blanco y negro). El punto más importante de la retina es la fovea, el punto donde se forma la imagen.

El ojo puede presentar diferentes tipos de imperfecciones : por ejemplo, todo ojo tiene aberraciones de diferentes tipos. La aberración esférica es la más importante y convierte todo punto en una mancha luminosa, llamada el círculo de confusión. Algunos ojos pueden presentar defectos comunes también. Por ejemplo, la miopía se produce cuando el ojo es demasiado potente y que la imagen se forma antes de la retina, y la hipermetropía se produce cuando la imagen se forma después de la retina. El astigmatismo es otro problema muy común, y causa la formación de dos imágenes distintas al observar un objeto. Por fin, la presbicia se produce por falta de acomodación en general en las personas mayores, cuando el cristalino ya no es capaz de moverse correctamente. Es importante poder detectar (y por supuesto, tratar) todos estos problemas para mejorar la calidad de vida del paciente. También es importante detectar algunas enfermedades que pueden ser peligrosas para este paciente. Por esto, se han desarrollado a lo largo de los años muchos instrumentos de medida que pueden detectar defectos y enfermedades del ojo, para poder tratarlos sin tardar.

2. Instrumentos de medida

El segundo día de práctica, visitamos la clínica oftalmológica en el CCM, en Mompia. Esta visita nos permitió ver los diferentes instrumentos que se usan para diagnosticar y tratar los problemas relacionados con el ojo.

2.1. Instrumentos de diagnostico

Primero, vimos en la clínica diferentes instrumentos que se usan para diagnosticar los problemas eventuales del ojo discutidos antes, y algunas enfermedades.

- **Proyección de letras.** Se puede saber si el paciente tiene miopía, hipermetropía y/o astigmatismo usando un sistema muy básico que proyecta letras negras de diferentes tamaños en un fondo blanco, en el pared del consultorio. El paciente tiene que leer lo que puede en la pantalla, empezando por letras más grande hasta llegar a letras pequeñas. Por supuesto, este dispositivo tiene que cumplir algunas condiciones para devolver resultados fiables : por ejemplo, la pantalla tiene que estar siempre a la misma distancia del paciente, y el color del fondo siempre tiene que ser la misma. Este dispositivo permite también hacer pruebas de visibilidad del contraste, proyectando cuadrados representados con unos puntos blancos en un fondo negro. Este instrumento es el más sencillo a entender de todos, y permite medir diferentes defectos habituales del ojo pero tiene un defecto mayor : los resultados obtenidos son muy subjetivos, y pueden cambiar de paciente a paciente.
- **Autorefractometro.** El autorefractometro es un instrumento que mide la potencia corneal en 2 ejes distintos, y que permite medir la esfericidad de la corneo (nos dice si esta esfericidad es positiva o negativa, y por lo tanto si el paciente tiene miopía, hipermetropía y/o astigmatismo). Existen también algunas enfermedades que deforman la cornea y que se pueden detectar con este aparato. Antes de medir con este instrumento, hay que parpadear para estar seguro tener lágrimas (las lentes más potentes) en el ojo, para evitar observar aberraciones que no existen. A la hora de medir con este aparato también hay que tener en cuenta el enfoque del ojo, que puede falsear los resultados obtenidos y por lo tanto, se usan a veces gotas que paralizan la acomodación del ojo (especialmente para los niños, que tienen en general una acomodación mucho más potente).
- **Biometro.** Este dispositivo hace lo que se llama una biometría ocular. Para usar el instrumento, hay que introducir primero datos sobre el paciente (su sexo, edad y etnicidad) para poder comparar los resultados obtenidos con una base de datos. Para medir, este instrumento usa un interferometro de tipo Michaelson¹. Este dispositivo se usa para medir el grosor del cristalino, la pupila del paciente, y tiene anillos de color rojo que permiten hacer una topografía del ojo. Se pueden poner diferentes tipos de lentillas y usar formulas distintas en el aparato, que devuelve (entre otros) el ojo del paciente colorado en función de la curvatura, una mapa de aberraciones, la longitud axial y la distancia blanco a blanco del ojo. Permite también estudiar la contracción de la pupila al enviar mucha luz y el número de células presentes en el ojo.
- **Tomografo OCT.** Este aparato permite observar directamente en la pantalla los nervios y el punto ciego del ojo del paciente. Para devolver resultados, usa también un interferometro de Michaelson y mide diferentes capas de la retina y sus espesores. Nos permite decir si existen por ejemplo fugas de sangre en el ojo sin usar producto para tener contraste. Es muy importante para detectar una enfermedad irreversible relacionada con la excavación del ojo.

¹En óptica, el interferometro de Michaelson permite observar franjas de interferencias. Un haz de luz se envía en una lámina que le separa en dos haces distintos, que se desplazan en direcciones distintas. Enviamos uno de estos haces en un espejo simple, mientras que el otro haz cruza un objeto de interés (en general, una lámina de cristal que introduce una fase pero en este caso, se usa el ojo directamente) y se combinan los dos haces, para observar franjas de interferencia. El estudio de las franjas obtenidas permite determinar y calcular algunas propiedades del objeto de interés.

- **Ultrasonidos.** En último recurso, se puede usar un aparato a ultrasonidos para intentar detectar algún problema en el ojo del paciente. Se aplica primero un gel para evitar reflexiones al entrar el ojo, y se observa directamente el ojo en una pantalla.

2.2. Instrumentos de tratamiento

En la clínica, vimos también dos aparatos diferentes que permiten tratar diferentes defectos del ojo humano usando láseres de potencia y longitud de onda distintas.

- **Láser de argón.** Este primer tipo de láser permite quemar algunas partes del ojo del paciente, para tratar algún defecto que pueda tener. Para usarlo, hay primero que definir unos parámetros iniciales de láser, como su potencia, su diámetro y el número de impactos que queremos, para evitar quemar partes sanas del ojo. Lo interesante de este láser es que no actúa de manera igual dependiendo del color : por ejemplo, no hace casi nada en el blanco pero quema las partes del ojo que tienen un color más oscuro. Este láser se puede usar para quitar un poco de presión en el ojo si hace falta, o bien para quitar vasos que podrían empezar a sangrar y causar problemas.
- **Láser de 1064nm.** Este láser funciona en el infrarrojo profundo, no quema, pero rompa directamente lo que estamos apuntando. Envía pulsaciones de 45mJ durante 4 nanosegundos. Este tipo de láser dispara todos los colores de la misma manera, y se puede por ejemplo para hacer un agujerito en el iris para tratar alguna enfermedad, o bien se puede usar también a la hora de limpiar la lente que se pone dentro del ojo cuando se trata la catarata.

3. Simulación con Matlab

El último día, hicimos con Matlab unas simulaciones del ojo, considerando un ojo humano asumiendo unos pocos datos sobre el ojo que estamos estudiando. Consideramos para estas simulaciones un caso muy sencillo : un ojo reducido (de tipo esférico, sin aberraciones) que tenga un rayo de curvatura R de 5,6mm, y consideramos que la retina está a una distancia L de 22,27mm. Por fin, en todo el ejercicio vamos a considerar que el índice de refracción del aire n vale 1, y que el índice de refracción de los humores presentes en el ojo n' vale 1,336.

El primer objetivo consistía en solamente hacer unos cálculos sencillos para verificar si la focal f' está exactamente en la posición de la retina. Si no es el caso, el ojo que estamos considerando no sería un ojo sano porque la visión sería un poco alterada. Se claramente con la ecuación (1) que el ojo que estamos considerando está sano.

$$f' = \frac{n' \cdot R}{n' - n} = \frac{1,336 \cdot 5,6}{1,336 - 1} = 22,27mm = L \quad (1)$$

El segundo objetivo consistía en calcular unos diagramas de impacto (que simulan la mancha de imagen que aparece en la retina), usando la ley de Snell (2) (que relaciona los ángulos antes y después de la refracción al atravesar la cornea) y unas relaciones trigonométricas sencillas.

$$n \cdot \sin(\alpha) = n' \cdot \sin(\alpha') \quad (2)$$

Estos diagramas de impacto se calculan usando Matlab. Primero, definimos una función llamada *calculoaltura* que nos devuelve las coordenadas del punto de impacto en la retina, dando un valor de diámetro de la pupila D , una longitud entre la cornea y la retina L , y un punto de entrada en el ojo.

Después, para generar el diagrama de impacto, vamos calculando este punto de impacto en la retina para todos los posibles rayos de entrada (los que cumplen la condición de pasar por la pupila) y representamos estos puntos en un plot.

Primero, calculamos los diagramas de impacto para un ojo sano, con dos diámetros de pupila distintos de 3 y 6 mm. Después, repetimos el mismo proceso para un diámetro de la pupila de 3mm, pero esta vez considerando un ojo miope ($L = 23.5\text{mm}$) y hipermetrope ($L = 21.5\text{mm}$). Los resultados obtenidos se representan en las figuras (1) y (2).

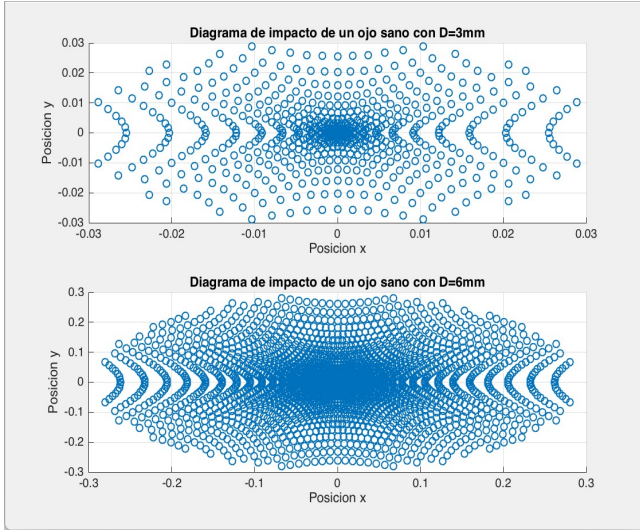


Figura 1: Diagrama de impactos obtenido para un ojo sano, con dos diámetros de la pupila.

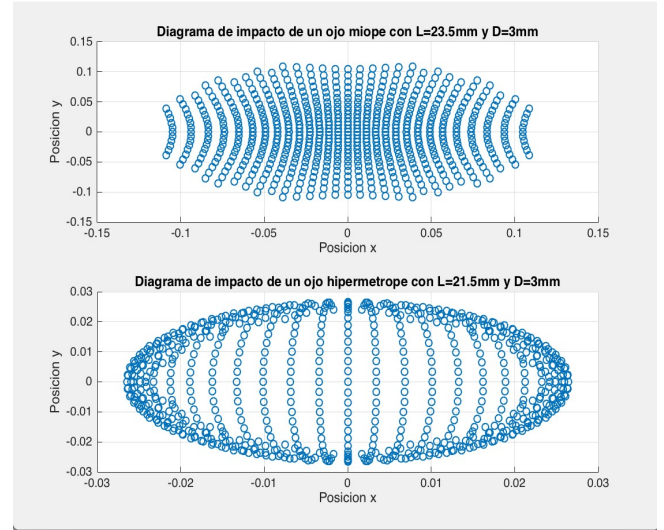


Figura 2: Diagrama de impactos obtenido para un ojo miope y hipermetrope.

Por fin, el último paso de la simulación con Matlab consiste en calcular el tipo y la potencia de la lente (divergente si miopía, convergente si hipermetropía) a poner a una distancia de 12mm del ojo para corregir los problemas de vista precedentes, usando unas formulas vistas en clase, que tienen en cuenta la modificación del ángulo de entrada de los rayos luminosos por la lente que ponemos. Lo que queremos en este caso es que la focal del sistema completa f'_t esté en la retina para que el paciente pueda ver correctamente :

$$f' = \frac{-f'_1 f'_2}{12\text{mm} - f'_1 + f'_2} = L_{\text{ojo}} \quad (3)$$

$$P = \frac{1}{f'_1} = \frac{f' - f'_2}{f'(e + f'_2)} = \frac{L_{\text{ojo}} - 22,27\text{mm}}{L_{\text{ojo}}(-12\text{mm} + (-16,67\text{mm}))} \quad (4)$$

En el caso de la miopía vemos que necesitamos una potencia de -1,83 dioptrías, y en el caso de la hipermetropía, una potencia de 1.25 dioptrías.

4. Conclusiones

En conclusión, esta práctica era una primera introducción a la óptica fisiológica y nos permitió aprender más sobre el ojo como sistema óptico. Vimos primero un poco de teoría sobre el ojo, sus principales componentes y los problemas principales que pueden aparecer (como la miopía, la hipermetropía y el astigmatismo).

Después, visitamos un laboratorio donde pudimos ver como funcionan dos tipos de instrumentos de medida : los instrumentos de diagnostico (autorefractometro, biometro, tomógrafo) y dos tipos láseres

que se usan al la hora de tratar algún defecto o enfermedad.

Por fin, el último día hicimos en clase algunas simulaciones con Matlab, considerando un ojo sano (y después con algunos defectos, considerandos una distancia entre la cornea y la retina un poco distinta) sin aberraciones. El objetivo principal de esta simulación era la observación de diagramas de impacto (la mancha de luz que aparece en la retina, debida a los rayos que entran por la pupila) en el caso de un ojo sano, miope y hipermetrope. También calculamos la lente a poner a los ojos que presentan un defecto, para corregir este defecto.