



INTRODUCCIÓN A LA VISIÓN DEL COLOR

AUTOR

Thomas Salmon: Northeastern State University, USA

PAR REVISOR

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, USA

ESTE CAPÍTULO INCLUYE UNA REVISIÓN DE:

- Teoría tricromática de la visión del color
- Leyes de los metámeros y Grassman

INTRODUCCIÓN

Hasta el momento se han estudiado aspectos de la visión tales como la adaptación visual, visión espacial, la visión temporal y la percepción del movimiento. Con la conferencia de hoy se comienza una nueva e importante área, la visión del color. Vamos a seguir de cerca el material presentado en los Capítulos 5 y 6 de Schwartz, 2004. Los principales subtemas son:

- La teoría tricromática de la visión del color
- Fenómenos asociados a la visión del color
- Sistemas de especificación del color
- Anomalías de la visión del color
- Pruebas de la visión del color

POR QUÉ SE DEBE ESTUDIAR LA VISIÓN DEL COLOR?

- Es uno de los aspectos más importantes del sentido de la visión.
 - A veces se evalúa la percepción de los colores de los pacientes para ver si cumplen con los requisitos profesionales.
- Se necesita un conocimiento básico de la visión del color para diagnosticar anomalías de la visión del color (ceguera de color, etc).
- Pruebas de la visión del color ayuda a diagnosticar ciertas enfermedades, como la neuritis óptica o toxicidad por Plaquenil.

TEORÍA TRICROMÁTICA DE LA VISIÓN DEL COLOR

Es sabido que el color está estrechamente relacionado con la longitud de onda de la luz. Un tema fundamental en la percepción del color es, ¿cómo el sistema visual discrimina una longitud de onda de otra?

Hace mucho tiempo, las personas teorizaron que se perciben diferentes colores porque hay un foto receptor para cada color.

Por ejemplo, si una persona estuviera mirando el follaje de otoño, la imagen retiniana de las hojas rojas estimularía los receptores rojos, hojas amarillas estimulan los receptores de color amarillo, hojas naranja estimulan los receptores de naranja, hojas verdes estimulan los receptores verdes, y así sucesivamente para todos los colores

P. ¿Cuál es el problema con esta teoría?

R. _____

El famoso científico de la visión, Thomas Young, en 1802, propuso una teoría de la percepción del color que requiere solamente de tres tipos de receptores del color. Esta se conoce como la **teoría tricromática** de la visión del color. Schwartz cita de Young en la Página 90:

Como es casi imposible concebir cada punto de la retina sensible que contenga un número infinito de partículas, cada uno capaz de vibrar al unísono con cada posible ondulación, se hace necesario suponer el número limitado; por ejemplo, a tres colores principales ... Y que cada una de las partículas es capaz de ser puesta en marcha más o menos a la fuerza por las ondulaciones que difieren más o menos de la perfecta armonía. Cada filamento sensible de los nervios puede consistir en tres partes, una para cada color principal.

MONOCROMATISMO

Para entender la visión de color tricromática, comenzamos por considerar lo que la discriminación de longitud de onda sería si hubiera una sola clase de foto receptores de la retina, como solo bastones. Este es el caso para las personas con una anomalía del color hereditaria llamada **monocromatismo de bastones**. Si se presentan dos estímulos que difieren en la longitud de onda, sería posible con un monocromatismo de bastones distinguirlos, basado en la longitud de onda únicamente?

Los foto pigmentos tienen un espectro de absorción, tal como que se muestran en la figura. 5-1 de Schwartz. Los diferentes pigmentos son absorbidos de manera disímil, así que ¿cómo podría una persona con un solo foto pigmento (un tipo de células foto receptoras) discriminar entre dos longitudes de onda diferentes (λ_a , λ_b)?

En referencia a la figura 5-2, se puede ver que, si los dos estímulos (λ_a , λ_b) tenían la misma luminosidad, el brillo relativo de las dos luces diferiría en función dependiente de la absorción de la longitud de onda. Si ambas luces emiten 100 quantum, el receptor absorbería 25 quantum en el caso de λ_a , pero 50 quantum para λ_b . Las dos luces parecen diferentes, pero sólo debido a las diferencias en el brillo percibido.

Se debe tener en cuenta que el foto receptor no transmite ninguna información específica sobre la misma longitud de onda, simplemente absorbe la luz y envía una señal eléctrica. Aunque la probabilidad de absorción de la luz varía como una función de la longitud de onda, una vez que se absorbe la luz, sólo hay una respuesta -excitación neural. Esto se conoce como el **principio de univarianza**.

Ahora, si se duplica el resplandor de λ_a , que parece ser el mismo brillo que λ_b (Fig. 5-2). En ese caso, las excitaciones neuronales para ambas luces estarán en igualdad de condiciones, y la corteza visual recibirá la misma señal de ambos, a pesar del hecho de que tienen diferentes longitudes de onda.

Para un paciente monocromático, siempre será posible hacer que coincidan dos luces de diferentes longitudes de onda mediante el ajuste de sus intensidades relativas. En otras palabras, es posible engañar a un monocromático haciéndole pensar de que dos longitudes de onda diferentes son del mismo color mediante el ajuste de sus resplandores relativos.

Esto significa que el monocromático no puede distinguir entre dos longitudes de onda sobre la base de diferencias en la longitud de onda solamente. Por lo tanto, los monocrómaticos son ciegos al color, en el sentido de que no tienen discriminación longitud de onda.

TEORÍA TRICROMÁTICA DE LA VISIÓN DEL COLOR (CONTINUACIÓN)

DICROMACIA

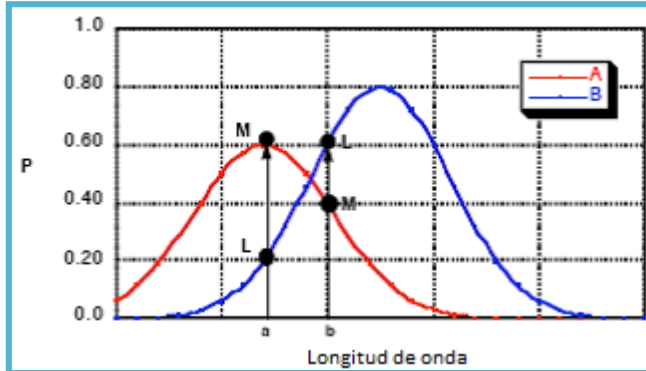


Figura 21-1: Apareamiento del color para un dicrómata que tiene dos receptores

Si la retina tenía dos foto pigmentos diferentes (M y L en la Figura 21-1 arriba; Schwartz figura 5-4), cada uno de los cuales tenía ligeramente diferentes espectros de absorción, sería tal sistema del color capaz de distinguir dos longitudes de onda diferentes basado la longitud de onda únicamente?

Al mostrarle al sujeto dos fuentes de luz, una con λ_a , y otro con λ_b . Para probar si es capaz de distinguir las dos longitudes de onda, se le pide que trate de ajustar las intensidades relativas de los dos parches para hacer que coincidan. Si puede alcanzar una coincidencia, entonces el sujeto no puede discriminar entre las longitudes de onda con base en la información de longitud de onda solamente. Si no puede hacerlas coincidir, entonces no importa las intensidades relativas, siempre van a tener un aspecto diferente. Esto indica que puede discriminar entre estas dos longitudes de onda en función de su longitud de onda solamente.

En el ejemplo presentado en la figura 21-1 y en Schwartz fig. 5-4, la absorción espectral de los dos ejemplos de foto pigmentos son diferentes pero tienen distribuciones que se superponen. Consulte la tabla de la figura. 5-4. Si la luminancia de ambas luces es ajustada a 100, la salida de señal por la retina para las dos luces será diferente. Para λ_a la respuesta neural se basaría en 60 quantums de absorción de los receptores de M + 20 quantums de absorción del receptor L (60M + 20L). Para λ_b la respuesta sería 40M + 60L. Esto se ilustra en la figura 5-4 de Schwartz.

P. Es posible ajustar las luminancias de las dos luces de manera que la señal de los conos M y L es el mismo para las dos manchas de luz?

R. _____

No importa cómo se intente ajustar las intensidades de las dos luces, la respuesta combinada de las dos señales L y M siempre será diferente para las dos longitudes de onda de prueba.

- Para λ_a , la respuesta M siempre será más grande y la respuesta L siempre será menor
- Para λ_b , la respuesta M siempre será menor y la respuesta L siempre será más grande

Al usar *dos longitudes de onda*, divididas entre dos fuentes de luz, un dicrómata nunca podrá hacerlas igualar. No se puede engañar y hacerle pensar que las dos longitudes de onda son las mismas, debido a que tiene una discriminación de longitud de onda superior a una monocromática, debido a la presencia de un foto pigmento adicional.

Adición de otra longitud de onda

Para investigar más a fondo la discriminación longitud de onda en un dicrómata, consideramos el experimento ilustrado en la Fig. 5-5 de Schwartz. Presenta dos luces, pero esta vez la izquierda consiste de una mezcla de dos longitudes de onda (λ_a y λ_c).

Mediante la variación de la mezcla de estas dos longitudes de onda, es posible hacer que coincidan con una tercera longitud de onda (λ_b)?

Nótese que λ_a normalmente estimula los conos M fuertemente y los conos L débilmente. λ_c estimula los conos L con mucha fuerza y los conos M menos. Ajustando cuidadosamente la combinación de λ_a más λ_c se puede hacer que las señales de los conos M y L coincidan con las salidas M y L para λ_b solamente. Para el sujeto, la luz que contiene

λ_a más λ_c aparecerá idéntica a λ_b . Dos estímulos que contienen diferentes longitudes de onda, pero que parecen ser idénticos se denominan **metámeros**.

Por lo tanto, los dicrómatas tienen cierta discriminación de longitud de onda, pero no es perfecta. Ellos pueden ser engañados y pensar que una mezcla particular de dos longitudes de onda es la misma que la tercera longitud de onda. En otras palabras, dos luces pueden ser igualadas con la mezcla correcta de tres longitudes de onda.

TEORÍA TRICROMÁTICA DE LA VISIÓN DEL COLOR (CONTINUACIÓN)

TRICROMACIA

El tricrómatas tiene discriminación de longitud de onda superior a un dicrómatas porque tiene tres foto pigmentos (en tres tipos de conos foto receptores). La Figura 21-2 muestra los espectros de absorción para los foto pigmentos contenidos en los tres conos humanos. Los conos están etiquetados S, M y L, debido a su sensibilidad pico en las longitudes de onda cortas, medias y largas, respectivamente. La Tabla 21-1 resume algunas características de los tres foto pigmentos.

Tabla 21-1: Tres tipos de conos humanos y las características de sus foto pigmentos

TIPO DE CONO	FOTO PIGMENTO	PICO DE SENSIBILIDAD (NM)	RANGO (NM)
S	Cianolabe	426	~400-530+
M	Clorolabe	530	~400-680+
L	Eritrolabe	552 o 557	~400-700+

En el pasado, los tres foto pigmentos habían sido denominados como los foto pigmentos azules, verdes y rojos, pero esto puede dar la impresión errónea de que cada uno absorbe solamente una sola longitud de onda. *Nótese que cada uno de los foto pigmentos absorbe la luz en un amplio intervalo de longitudes de onda, y hay una considerable superposición. Los tres foto pigmentos tienen espectros de absorción que se superponen sobre una cierta gama de longitudes de onda (por debajo de aproximadamente 545 nm).*

P. Cuántos tipos de conos están disponibles para absorber las longitudes de onda por encima de 545?

R. _____

El emparejamiento metamérico que engañó al dicrómatas nunca engañará al tricrómatas. Presentar dos luces, y el uso de tres longitudes de onda, nunca se dejarán emparejar. El sujeto siempre va a ser capaz de decir que la luz que contiene las dos longitudes de onda es diferente de la otra.

Sin embargo, si se mezclan en un cuarto de longitud de onda (λ_d), es posible lograr un emparejamiento metamérico para un tricrómatas. Es decir, presentando cuatro longitudes de onda divididas entre dos luces, se pueden mezclar de una manera tal que, a pesar de que en realidad son diferentes, parecen ser idénticas.

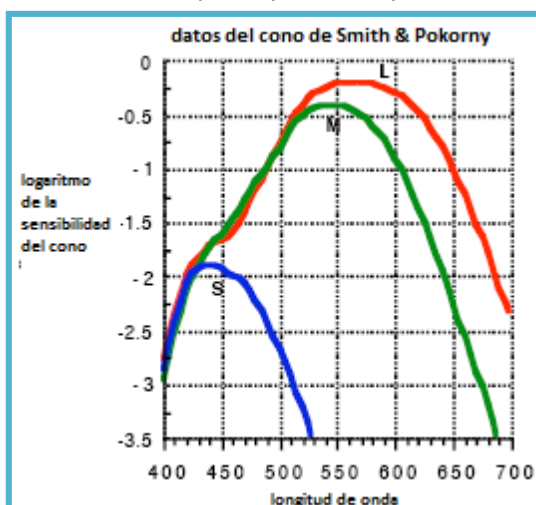


Figura 21-2: Espectro de absorción de los conos S, M, y L.

TEORÍA TRICROMÁTICA DE LA VISIÓN DEL COLOR (CONTINUACIÓN)

TETRACROMACIA

Algunos investigadores han sugerido que los bastones también podrían contribuir a la percepción del color. Si eso fuera cierto, entonces tendríamos un sistema tetracromático. Como se resume en la Tabla 21-2, si una persona recibiera información de cuatro foto receptores diferentes (un tetracrómata), tendría la discriminación de longitud de onda superior a la de un tricromático. Sería capaz de discriminar entre dos luces que tuvieran cualquier combinación de cuatro longitudes de onda. Sin embargo, podría lograr un emparejamiento metamérico usando cinco longitudes de onda diferentes.

Tabla 21-2: Principios del emparejamiento del color

Condición	Número de foto pigmentos	Número mínimo de λ s para el metamerismo
Monocrómata	1	2
Dicrómata	2	3
Tricrómata	3	4
Tetracrómata	4	5

LOS METÁMEROS Y LA LEY DE GRASSMAN

Se han utilizado experimentos de emparejamiento del color para estudiar la percepción del color, y en general se acepta que los humanos tienen un sistema de color tricromático basado en los conos S, M y L. Recordemos que los **metámeros** son pares de estímulos de color que pueden ser emparejados a pesar del hecho de que están compuestos de diferentes longitudes de onda. Las leyes de Grassman resumen algunos principios básicos de la correspondencia de colores metaméricos:

Propiedad aditiva de los metámeros - Si la misma longitud de onda se añade a dos metámeros, permanecen como metámeros (Fig 5-8 de Schwartz, arriba)

Propiedad escalar de los metámeros - Si se multiplica (o escala) la intensidad de dos metámeros por el mismo factor, permanecen como metámeros (Fig. 5-8, medio)

Propiedad asociativa de los metámeros - Los metámeros puede sustituir a otras mezclas y la percepción del color seguirá siendo el mismo (Figura 5-8, abajo)

LECTURAS/REFERENCIAS SELECCIONADAS

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004