



SUMACIÓN BINOCULAR

AUTOR

Thomas Salmon: Northeastern State University, USA

PAR REVISOR

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, USA

GRADOS DE FUSIÓN

La fusión binocular requiere de la fusión motora y la fusión sensorial. La Fusión Motora es un requisito previo para la fusión sensorial, pero la fusión sensorial completa no siempre sigue la fusión motora. La Fusión sensorial puede ser dividida en niveles cualitativos sucesivamente más sofisticados. Citando a Saladino en Borish (p. 766): *"A principios del siglo XX, Worth (1903) desarrolló un esquema de clasificación para la visión binocular que ha resistido la prueba del tiempo en la práctica clínica. En este esquema, que se describe en el capítulo 5, con la prueba de las 4 luces de Worth, hay tres grados de fusión: El primer grado es la percepción simultánea [...] el segundo grado es la fusión plana, y el tercer grado es la estereopsis"*

Incluso a principios del siglo XX, los médicos se dieron cuenta de la importancia de la estereopsis en los diagnósticos oculo motores, teniendo en cuenta su manifestación como el pináculo de la capacidad de fusión sensorial.

Los grados más bajos de la fusión son los niveles fundamentales que deben estar establecidos antes de que una persona puede alcanzar mayores niveles. Los grados de fusión pueden ser útiles en el análisis de un paciente que está teniendo dificultades binoculares. Al diagnosticar su nivel actual de la fusión, se puede diseñar un régimen de terapia visual para promover los niveles más altos.

El Dr. Maples incluye un nivel de fusión entre el primero y segundo grado de fusión de Worth, así que él enseña cuatro niveles. En la Tabla 23.1 se comparan los grados tradicionales de fusión de Worth con los del Dr. Maples.

Tabla 23.1 Grados de fusión binocular.

Grados de Worth	Grados de Maples	Fusión Sensorial	Descripción
0	0	Ninguno	Supresión/Visión Monocular
1	1	Simultánea	Diplopia/Confusión
2	2	Super imposición	Ni diplopia ni confusión
3	3	Fusión plana	La fusión motora sostiene la fusión plana con BI o BE
3	4	Estereopsis	Fusión sensorial

UMBRALES EN LA SUMACIÓN BINOCULAR

El beneficio más importante de la visión binocular es la visión estereoscópica, que es el pináculo de la fusión binocular. Se va a estudiar la estereopsis en mayor detalle más adelante, pero antes de eso, se revisará otro más sutil beneficio de la visión binocular: la sumación binocular. Este es el proceso por el cual la visión con los dos ojos se ha mejorado más de lo que se podría esperar con un solo ojo.

Ya se habló anteriormente de cómo el campo visual binocular es más grande que cualquiera de los campos monoculares. El estudio de la sumación binocular generalmente se refiere más a otras funciones visuales, tales como los umbrales, y cómo estos mejoran con dos ojos.

Dos ojos son mejor que uno, pero cuánto mejor? se ve el doble con dos ojos? Por ejemplo, no esperamos que la agudeza visual binocular sea dos veces mejor que la agudeza monocular. Si una persona pierde un ojo, pierde la mitad de su sentido de la visión? Una vez más, esto obviamente no es el caso. Los pacientes monoculares tienen alguna disminución en el rendimiento visual en comparación con los pacientes binoculares, pero aparte de la estereopsis y el campo visual, la mayoría de las funciones visuales son casi las mismas para un paciente monocular como para uno binocular.

Los experimentos han demostrado que el umbral binocular de la detección absoluta de una luz tenue, es aproximadamente 0,7 veces mayor que (1,4 veces mejor) el de la visión monocular. Esto es aproximadamente una mejora de 0,15 unidades log en la sensibilidad; lo cual es pequeño, pero en ciertas situaciones, como la conducción nocturna o volar, podría ser importante.

Cómo se explica la mayor sensibilidad con los dos ojos? Podría ser debido a algún proceso fisiológico que potencializa la recepción de los dos ojos, o podría ser simplemente una cuestión de estadística. Cuando se tienen dos sensores, hay una mayor probabilidad de detección que si tuviera sólo uno. Si solamente cada ojo tuviera una probabilidad de 0,6 de detectar un estímulo, la probabilidad estadística de detectar el estímulo usando dos sensores (dos ojos) sería:

$$P_b = P_r + P_l - (P_r \times P_l) = 0.6 + 0.6 - (0.6 \times 0.6) = 0.84 \quad (1)$$

La incremento de 0,6-0,84 representa una mejoría de 1,4 veces, o el umbral binocular debe ser 0,7 veces el umbral monocular. Pirenne (1943) hizo experimentos para probar las probabilidades de detección monocular y binocular, y se encontró con que, para la detección de una luz tenue el umbral binocular era aproximadamente 1,4 veces mejor o 0,7 veces la del umbral monocular. Se llegó a la conclusión de que este tipo de sumación binocular se podría explicar simplemente debido a la mayor probabilidad de detección. Esto se conoce como la suma de la probabilidad. Conocida como **sumación de probabilidad** binocular. Steinman se refiere a esta como la **teoría independiente** de la sumación binocular. Es decir, se puede dar cuenta de la mejoría, simplemente por el hecho de que dos detectores independientes tienen una mayor probabilidad de detectar una luz débil que solo uno. Esto, sin embargo, no prueba que la sumación binocular sea simplemente debido a las estadísticas, esto sugiere que puede ser debido a la mayor probabilidad de detección. Es posible que la

sumación binocular sea debida tanto a la suma de probabilidad y algún mecanismo fisiológico que mejora aún más la visión binocular.

Los experimentos de Martin en la década de los años 60, mostraron que bajo ciertas condiciones, el aumento en la sensibilidad binocular fue mayor que la que podría explicarse por la probabilidad solamente. La Sumación óptima se obtuvo cuando:

1. Los puntos correspondientes en las dos retinas fueron estimuladas con objetivos similares, y
2. Cuando los estímulos fueron presentados a los dos ojos de forma simultánea, o por lo menos dentro de ~100 mseg entre el uno y el otro.

Estos son los requisitos básicos para la **sumación neural**, que se refiere a un mecanismo neural que combina la recepción de los dos ojos. Steinman tiene un buen resumen del experimento de Martin, en las pág. 160-161. Campbell y Green dan otra explicación de por qué la sumación binocular debe disminuir el umbral visual por un factor de 1,4. Dijeron que mediante la combinación de la recepción a partir de dos ojos, se añadirían las señales neurales mientras que el ruido neural de fondo (que se supone ser al azar y sin correlación) se debe cancelar parcialmente. Predijeron que este proceso por sí solo haría que los umbrales binoculares mejoraran en un factor de $\sqrt{2}$ o 1.4 (véase p. 162 de Steinman, donde hay un error de impresión, $\sqrt{2}$ está escrito como 2). Por lo tanto, una mejoría de 1,4 veces en la función visual podría explicarse por cualquiera de las probabilidades, un aumento de la relación señal-ruido o la suma neural, pero una mejoría superior indicaría claramente que la sumación neuronal o alguna otra forma de la suma fisiológica está involucrada.

SUMACIÓN BINOCULAR DE SUPRAUMBRAL

Ejemplos en los cuales la sumación binocular supera a la visión monocular incluyen:

- Agudeza visual
- Sensibilidad al contraste
- Detección del centelleo
- Percepción del brillo
- Detección de una luz tenue

Agudeza Visual

Tanto la agudeza visual como la sensibilidad al contraste son ligeramente mejores cuando se mira binocularmente, probablemente debido a la sumación estadística y fisiológica. Generalmente usted espera que la AV sea alrededor de una línea mejor que la agudeza monocular durante la evaluación clínica.

Sensibilidad al contraste

La sensibilidad al contraste binocular es mejor que la monocular en un factor de 1,4 en todo el rango, si ambos ojos están bien corregidos. (Ver **Steinman Fig. 6-4**). Sin embargo, el grado de sumación binocular cambia, cuando uno de los ojos es emborronado. Con el emborronamiento monocular que se puede crear adicionando positivo al ojo, la SC binocular disminuye a medida que se incrementa el emborronamiento.

Con suficiente emborronamiento monocular, es posible reducir la SC binocular por debajo de lo que se espera en la visión monocular. De tal forma que, la imagen borrosa de un ojo parece degradar la visión binocular hasta ser peor que la que provee el ojo bueno.

El efecto es más pronunciado en las frecuencias espaciales altas. Un emborronamiento mayor de cerca de 1.50-2.00 dpt parece que es capaz de degradar la SC binocular por debajo del nivel monocular. Esto varía entre individuos y puede explicarse por qué algunos pacientes adaptados con monovisión no pueden aceptar más de 1.50-2.00 dpt de diferencia en el enfoque de los dos ojos.

Centelleo

Cuando se presentan a cada ojo luces centelleantes en la misma fase parecen centellear de una manera más brillante que si se observan monocularmente. Sin embargo, si se presentan fuera de fase, el centelleo casi desaparece. (**Steinman Fig. 6-2**) De igual modo, la frecuencia crítica de centelleo que se puede detectar (FCC) es mayor para la observación binocular que monocular si las luces se presentan a los dos ojos en fase.

Si están fuera de fase, la FCC binocular será de hecho menor que la monocular (ver Tabla 23.2).

Esto también indica una sumación o interacción de las recepciones de los dos ojos. (**Ver Steinman Fig. 6-3.**)

Tabla 23.2 FCC bajo condiciones monoculares y binoculares.

Condición	FCC fotópica típica
Binocular – OD, OI centelleo en fase	45
Binocular – OD, OI centelleo fuera de fase	30
Monocular	40

Cuando se grafica la función de transferencia temporal de la modulación (Steinman la llama función de la SC temporal en su Fig. 6-3), se observa que la sensibilidad temporal es mejor en condiciones binoculares para el centelleo en fase, pero es peor cuando el centelleo no está en fase. La diferencia es más pronunciada para las frecuencias temporales bajas.

Percepción del Brillo y Paradoja de Fechner

La percepción binocular del brillo muestra que la sumación binocular es más compleja que simplemente la suma de dos recepciones. Cuando ambos ojos tiene una iluminancia retinal similar, el brillo percibido binocularmente puede ser solamente ligeramente más brillante que el visto por cada uno.

En algunas condiciones, el brillo de una luz vista binocularmente es de hecho menor que si se viera monocularmente. Si se coloca un filtro de densidad neutra (DN) frente a uno de los ojos, mientras el otro ojo mira hacia la luz brillante directamente, la percepción binocular del brillo es menor que el brillo observado solo por el ojo sin. A esto se le llama la **paradoja de Fechner**, y sugiere que el sistema visual promedia el brillo entre los dos ojos. (Ver **Fig. 6-6 en Steinman**).

Esto puede demostrarse experimentalmente utilizando un aparato como el ilustrado en la Figura 23.1-izquierda.

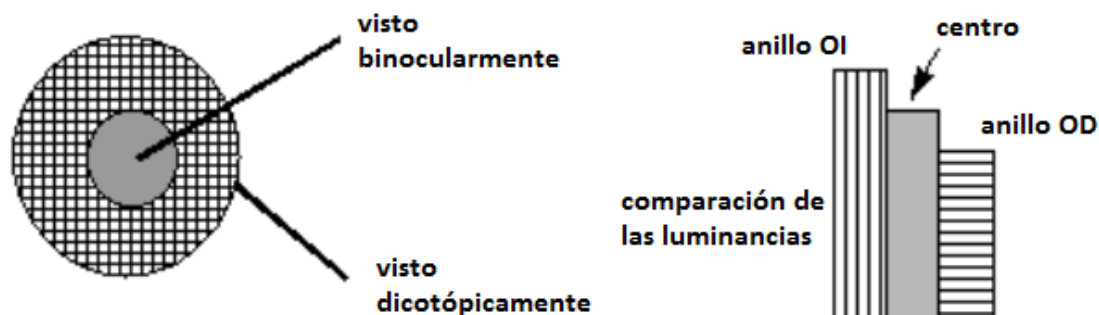


Figura 23.1 Experimento de comparación para el brillo del estímulo.

El punto central está diseñado de la manera que se presenta el mismo brillo a los dos ojos y es fusionado binocularmente. El anillo está diseñado para que también sea fusionado, pero cada ojo lo ve con brillo diferente. Cuando se presentan estímulos diferentes para ambos ojos, se dice que son vistos dicotópicamente. Esto se puede lograr utilizando un haploscopio (tal como el Sinoptóforo o Amblioscopia) o con polarizados. El centro está calibrado a un brillo estándar y es alternado con el anillo. El brillo del anillo presentado al OI está preestablecido, y el sujeto debe ajustar el brillo del anillo del OD de manera que parezca tener el mismo brillo en el centro. Cuando el brillo del anillo del OI es ajustado más brillante que el centro, se debe bajar el brillo del OD para ajustarlo y de esta manera que coincidan. Esto se muestra en la Figura 23.1-derecha.

El promedio del brillo explica la **paradoja de Fechner**. Abajo hay un ejemplo de pregunta en este tema del libro (Optometry exam review (p. 153, 187).

“450. Con respecto al brillo Parente, la paradoja de Fechner sugiere que la integración sensorial binocular se basa en

- A. La independencia sensorial ojo derecho, ojo izquierdo**
- B. Promedio**
- C. Sumación lineal**
- D. Potenciación**
- E. Facilitación**

Respuesta: B

La paradoja de Fechner se refiere a la observación de que un estímulo brillante visto monocularmente parece más brillante que cuando se ve binocularmente con un filtro DN frente a un ojo. La paradoja es simple: cuando se abre el ojo del filtro, entra más luz al sistema visual, pero la luz parece más oscura. Parece que el brillo percibido estuviera determinado por el promedio del brillo de los dos ojos.”

Qué sucede si en lugar de usar un filtro DN simplemente se ocluye un ojo? Basado en simplemente el promedio, la luz debe parecer mucho más oscura cuando se ve binocularmente que cuando se ve monocularmente. Sin embargo, en este caso se observarán casi igual. Esto sugiere que la percepción binocular del brillo también requiere de información de contornos de ambos ojos si la interacción ha de ocurrir. El remover los contornos de la imagen parece negarle el mecanismo de promedio que provoca la paradoja de Fechner.

Esto se puede comprobar repitiendo el experimento para la paradoja de Fechner, pero adicionalmente al uso del filtro DN en un ojo, desenfocando la imagen con lente positivo. Esto borra los contornos que eran vistos previamente. Cuando se hace esto, el brillo monocular y binocular es similar por lo que la paradoja de Fechner no será observada.

Transferencia Inter ocular

La secuela del movimiento se puede transferir al otro ojo aunque este haya estado ocluido durante la presentación del estímulo. Esto indica que la recepción de ambos ojos es combinada y procesada junta en el cerebro. Secuelas de la inclinación (**Steinman Fig. 6-7**) también son transferidas al otro ojo. La transferencia inter ocular es más fuerte cuando el estimulado es el ojo dominante.

Cuándo la sumación binocular es una desventaja

En algunas personas, las luces centelleantes pueden detonar un ataque epiléptico, pero el cerrar un ojo puede mitigar este efecto. En este caso, el hecho de que la sensibilidad binocular sea mayor es una desventaja. El deslumbramiento incapacitante que interfiere con la visión o causa incomodidad también parece ser más detectable cuando se observa binocularmente que monocularmente. Este es un caso en el cual también la mayor sensibilidad obtenida por la visión binocular es una desventaja.

BIBLIOGRAFÍA

- Steinman et al. **Foundations of Binocular Vision**. McGraw-Hill, New York, 2000.
Chapter 3, p. 45; Chapter 6, p. 153-170.
- Benjamin, W. **Borish's Clinical Refraction**. WB Saunders, Philadelphia. 2006. Chapter 21.
- Goss DA. **Ocular accommodation, convergence, and fixation disparity: A manual of clinical analysis**. Butterworth-Heinemann, Michigan. 1995.
- Ciuffreda and Hung's model (**Dual-mode behaviour in the human accommodation system**).
Ophthalmological and Physiological Optics 1988 8, 327-332.
- Kaufmann PL, Alm A and Francis HA. **Adler's Physiology of the Eye, 10th Ed**. Mosby, St. Louis, 2003.
- Schor CM and Ciuffreda KJ. **Vergence eye movements: Basic and clinical aspects**. Butterworth, Michigan. 1983.
- Von Noorden GK. **Binocular Vision and Ocular Motility - 5th Edition**. Mosby, St. Louis. 1996.
- Ciuffreda KJ and Tannen B. **Eye Movement Basics for the Clinician**. Mosby, St. Louis, 1995.
- Griffin JF. **Binocular Anomalies - Diagnosis and Vision Therapy, 3rd Edition**, Butterworth-Heinemann, 1995.
- Kandel. **Essentials of Neural Science and Behavior**, Appleton & Lange, 1995.
- Reading RW. **Binocular Vision**. Butterworth Publishers, Woburn, MA, 1983.
- Schwartz S. **Visual Perception - 2nd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, CT, 1999.
- Hart W. **Adler's Physiology of the Eye, 9th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1992.
- Moses, RA. **Adler's Physiology of the Eye, 8th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1987.