



SUMAÇÃO BINOCULAR

AUTOR

Thomas Salmon: Northeastern State University, USA

REVISOR

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, USA

GRAUS DE FUSÃO

A fusão binocular requer fusão motora e sensorial. A fusão motora é um pré-requisito para a fusão sensorial, mas a fusão sensorial completa nem sempre acompanha a fusão motora. A fusão sensorial pode ser dividida em níveis qualitativos sucessivamente mais sofisticados. Citando Saladin em Borish (p. 766), *“No início do séc. XX, Worth (1903) desenvolveu um sistema de classificação para binocularidade que tem resistido ao teste do tempo na prática clínica. Neste esquema, o qual é descrito no capítulo 5 em conjugação com o teste dos 4 pontos de Worth, há três graus de fusão: O primeiro grau é a percepção simultânea ... o segundo grau é a fusão plana, e o terceiro grau é a estereopsia”*.

Mesmo no início de século XX, os clínicos perceberam a importância da estereopsia para o diagnóstico oculomotor, considerando a sua manifestação como o auge da capacidade de fusão sensorial.

Os graus mais baixos da fusão são níveis fundamentais que devem estar em funcionamento antes de uma pessoa alcançar níveis mais altos. Os graus da fusão podem ser úteis na análise de um paciente que está a ter dificuldades binoculares. Ao diagnosticar seu nível da fusão atual, pode criar um programa de terapia visual para promover níveis mais altos.

Dr. Maples inclui um nível de fusão entre o primeiro (Worth) e segundo grau de fusão, por isso ele define quatro níveis. Tabela 10.1 compara os graus tradicionais de fusão de Worth com as do Dr. Maples.

Tabela 23.1 Graus de Fusão Binocular.

Grau de Worth	Grau de Maples	Fusão Sensorial	Descrição
0	0	Nenhuma	Supressão/ Visão Monocular
1	1	Simultânea	Diplopia/Confusão
2	2	Sobreposição	Sem diplopia ou confusão
	3	Fusão Plana	Fusão motora detém fusão plana com Blnt ou BExt
3	4	Estereopsia	Fusão Sensorial Definitiva

SUMAÇÃO BINOCULAR NO LIMIAR

O benefício mais significativo da visão binocular é a estereopsia, o qual é o pico da fusão binocular. Vamos estudar a estereopsia em maior detalhe posteriormente, mas antes disso, iremos estudar um outro benefício da visão binocular — **a somação binocular**. Este é o processo pelo qual se melhora a visão com dois olhos em relação ao que seria esperado com apenas um olho.

Discutimos anteriormente como o campo visual binocular é maior do que qualquer campo monocular. O estudo da somação binocular está geralmente mais preocupado com outras funções visuais, tais como os limiares, e como eles melhoraram com os dois olhos.

Dois olhos são melhores do que um, mas quão melhor? Será que vê duas vezes melhor com dois olhos? Por exemplo, não esperamos que a acuidade visual binocular seja duas vezes melhor que a acuidade monocular. Se uma pessoa perder um olho, será que perde metade do seu sentido de visão? Novamente, isto não é obviamente o caso. Os pacientes monoculares têm algum decréscimo no desempenho visual em relação aos pacientes binoculares, mas para além da estereopsia e do campo visual, a maioria das funções visuais são quase sempre as mesmas, quer para um paciente monocular, quer para um paciente binocular.

Algumas experiências demonstraram que para a detecção absoluta de uma luz ténue, o limiar binocular é aproximadamente 0.7 vezes (1.4 vezes melhor) que na observação monocular. Isto é aproximadamente uma melhoria de 0.15 logMAR na sensibilidade, o qual é pequeno, mas para certos estímulos, tais como condução noturna e voo, pode ser importante.

O que representa a maior sensibilidade para ambos os olhos? Isso poderia ser devido a algum processo fisiológico que estimula a recepção dos dois olhos. Ou poderia ser simplesmente uma questão de estatística. Quando tem dois sensores, tem uma maior probabilidade na detecção do que se tivesse apenas um. Se cada olho só tivesse uma probabilidade de 0.6 de detectar um estímulo, a probabilidade estatística de detectar o estímulo usando dois sensores (dois olhos) seria:

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

A melhoria de 0.6 para 0.84 representa uma melhoria de 1.4 vezes; ou o limiar binocular deve ser 0.7 vezes o limiar monocular. Pirenne (1943) conduziu experiências para testar as probabilidades monoculares e binoculares de detecção e determinou que, para a detecção de uma luz ténue, o limiar binocular era cerca de 1.4 vezes melhor ou 0.7 vezes o limiar monocular. Ele concluiu que este tipo de somação binocular deveria ser explicado simplesmente devido à maior probabilidade de detecção. Isto é conhecido como probabilidade de somação. Steinman refere-se a isto como a teoria independente para a somação binocular. Isto é, pode ter em conta a melhoria apenas devido ao facto de dois detetores independentes terem maior probabilidade de detetar uma luz ténue do que apenas um. No entanto, isto não prova que a somação binocular é simplesmente devido a estatística; isto sugere simplesmente que pode ser devido a uma maior probabilidade de detecção. É possível que a somação binocular possa ser devido a ambas a probabilidade de somação e algum mecanismo fisiológico que melhora a visão.

Experiências feitas por Martin na década de 1960 mostraram que, sob determinadas condições, o aumento da sensibilidade binocular foi maior do que o que poderia ser explicado apenas pela probabilidade. A somação ideal ocorreu quando,

1. Pontos correspondentes nas duas retinas eram estimulados com alvos semelhantes, e
2. Quando os estímulos foram apresentados nos dois olhos simultaneamente, ou pelo menos dentro de ~ 100 ms uns dos outros.

Estes são requisitos básicos para a **sumação neural**, o qual se refere a um mecanismo neural que combina a entrada dos dois olhos. Steinman tem um bom resumo sobre a experiência da Martin na p. 160-161. Campbell e Green deram outra explicação sobre a razão pela qual a somação binocular deve diminuir o limiar visual por um fator de 1.4. Disseram que, ao combinar a informação recebida dos dois olhos, os sinais neurais seriam adicionados enquanto o ruído do fundo neural (supondo que são aleatórios e estão correlacionados) deveria ser parcialmente cancelado. Eles previram que este processo iria melhorar o limiar binocular por um factor de $\sqrt{2}$ ou 1.4 (ver p. 162 de Steinman, onde há um erro de impressão, $\sqrt{2}$ é escrito como 2). Portanto, uma melhoria de 1.4 vezes na função visual poderia ser explicada por qualquer probabilidade, um aumento na relação sinal-ruído ou somação neural, mas uma melhoria por mais do que 1.4 vezes indicaria fortemente que a somação neural ou alguma outra forma de somação fisiológica esteja envolvida.

SUMAÇÃO BINOCULAR SUPRALIMIAR

Exemplos nos quais a somação binocular melhora a função visual sobre a visão monocular incluem:

- Acuidade Visual
- Sensibilidade de Contraste
- Detecção de Intermitência (flicker)
- Percepção de Brilho
- Detecção de uma luz tênue

Acuidade Visual

A acuidade visual e sensibilidade do contraste são um pouco melhores com a visão binocular, provavelmente devido à soma estatística e fisiológica. Geralmente, espera-se que a acuidade visual binocular seja uma linha melhor do que a acuidade monocular em testes clínicos.

Sensibilidade ao contraste

A sensibilidade de contraste binocular é melhor do que a sensibilidade de contraste monocular por um factor de 1.4, se ambos os olhos também estão bem corrigidos. (Ver **Steinman Fig. 6-4**). No entanto, o grau da somação binocular muda quando um olho é desfocado. Com desfocagem monocular, o qual pode ser criado pelo excesso de positivo no olho, a sensibilidade ao contraste binocular diminui com o aumento da desfocagem.

Com uma desfocagem monocular suficiente, é possível reduzir a sensibilidade ao contraste binocular abaixo do esperado para a visão monocular. Ou seja, uma imagem que for severamente desfocada num olho parece prejudicar a visão binocular, de forma a ser pior do que a imagem fornecida pelo olho bom.

O efeito é maior em frequências espaciais maiores. Para frequências espaciais mais elevadas, a desfocagem monocular maior do que cerca de 1.50-2.00 dioptrias parece prejudicar o contraste binocular abaixo do nível monocular. Isso varia de acordo com indivíduos e poderia explicar por que alguns pacientes com monovisão não aceitam mais do que uma diferença dióptrica de 1.50-2.00 em foco entre os dois olhos.

Intermitência (Flicker)

Luzes intermitentes em fase apresentadas a cada olho parecem piscar de forma mais intensa que se vistas monocularmente. Se apresentadas fora de fase, no entanto, a intermitência quase desaparece. (**Steinman Fig. 6-2**) Também a maior frequência de intermitência crítica que consegue ser detectada (FIC) é maior para a visualização binocular do que a visualização monocular se as luzes são apresentadas aos olhos em fase.

Se elas estão fora de fase, a FIC binocular é realmente menor que a FIC (ver tabela 23.2) monocular. Isso também indica uma somação ou interação do input dos dois olhos. (Ver **Steinman Fig. 6-3**).

Tabela 23.2 FIC sob condições monoculares e binoculares.

Condição	FIC Fotópica típica
Binocular – OD, OS intermitência em fase	45
Binocular – OD, OS intermitência fora de fase	30
Monocular	40

Ao traçar a função de transferência de modulação temporal (Steinman chama-a a função de sensibilidade ao contraste temporal na Fig. 6-3), vemos que a sensibilidade temporal é melhor sob condições binoculares de intermitência em fase, mas são piores na intermitência em contrafase. A diferença é mais evidente em baixas frequências temporais.

Percepção de brilho e paradoxo de Fechner

A percepção de brilho binocular mostra que a soma binocular é mais complexa do que apenas a soma de duas entradas. Quando ambos os olhos, direito e esquerdo têm uma iluminância retiniana semelhante, o brilho percebido binocularmente pode ser apenas ligeiramente mais brilhante do que aquele visto por qualquer um.

Nalgumas condições, o brilho da luz vista binocularmente é realmente mais baixa do que se vista monocularmente. Se um filtro de densidade neutra (DN) é colocado em frente a um olho, enquanto o outro olho vê uma luz brilhante diretamente, a percepção binocular de brilho é menor do que o brilho visto pelo olho, que não foi filtrado. Isso é chamado, o **Paradoxo de Fechner**, e sugere que o sistema visual faz a média do brilho entre os dois olhos. (Ver **Fig. 6-6 no Steinman**). Isso pode ser demonstrado usando o aparelho apresentado na Figura 23.1-esquerda.

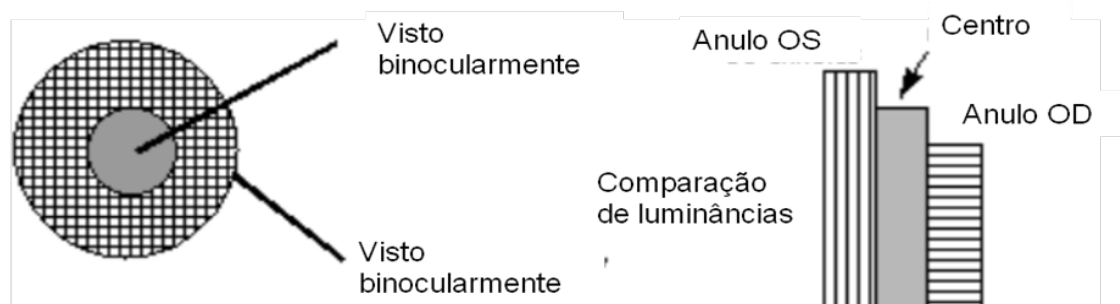


Figura 23.1 Estímulo para a experiência de correspondência de brilho.

O ponto central é desenhado para que o mesmo brilho seja apresentado em ambos os olhos e seja fusionado binocularmente. O anel foi elaborado para que também ele seja fusionado, mas cada olho vê um brilho diferente. Quando estímulos diferentes são apresentados para os dois olhos, diz-se que são vistos **de forma biocular** e isso pode ser feito usando um haploscópio (como o sinoptoforo) ou com polarizadores. O centro é definido para um brilho padrão e pisca de forma alternada com o anel. O brilho do anel apresentado ao OS é prédefinido e o sujeito deve ajustar o brilho do anel do OD para fazer o anel parece ter o mesmo brilho no centro. Quando o anel do OS é ajustado como sendo mais brilhante que o centro, o brilho de OD deve ser ajustado mais baixo para corresponder. Isso é apresentado na Figura 23.1-direita.

A média do brilho explica o **paradoxo de Fechner**. Abaixo está o exemplo de uma questão neste tópico no livro: Optometry exam review book (p. 153, 187).

“450. Com relação ao brilho aparente, o paradoxo de Fechner sugere que a integração binocular sensorial é baseada na

- A. Independência sensorial Olho direito, olho-esquerdo
- B. Média
- C. Somação Linear
- D. Potenciação
- E. Facilitação

Resposta: **B**

O paradoxo de Fechner refere-se ao facto de um estímulo luminoso, visto monocularmente, parecer mais brilhante do que quando visto binocularmente com um filtro ND à frente de um olho. O paradoxo é simples: ao abrir o olho com o filtro, entra mais luz no sistema visual, mas a luz parece mais escura. Parece como que o brilho aparente é determinado por alguns nivelamentos dos dois brilhos monoculares.

Em vez de usar um filtro ND, o que acontece se simplesmente tapar um olho? Com base numa média simples, a luz deve aparecer muito mais escura quando vista binocularmente do que monocularmente. Contudo, neste caso, parecem quase iguais. Isto sugere que a percepção binocular de brilho também requer informações do contorno de ambos os olhos, se ocorrer interação. Remover os contornos da imagem parece negar a média do mecanismo que origina o paradoxo de Fechner.

Isso pode ser testado, repetindo a experiência para o paradoxo de Fechner, mas além de colocar um filtro de DN no olho, desfoque a imagem com uma lente positiva. Isso desfoca os contornos anteriormente visíveis. Quando isso é feito, o brilho monocular e binocular são semelhantes e o paradoxo de Fechner não é visível.

Transferência Interocular

Tal como foi estudado no semestre passado, os efeitos pós-movimento podem ser transferidos para o olho contralateral mesmo que tinha sido tapado durante a apresentação do estímulo. Isso indica que a informação de entrada dos dois olhos é combinada e processada conjuntamente pelo cérebro. Os pós-efeitos de inclinação (**Steinman Fig. 6-7**) são também transferidos para o outro olho. A transferência interocular é mais forte quando o olho dominante é estimulado.

Quando a somação binocular é uma desvantagem

Em algumas pessoas, as luzes intermitentes podem desencadear um ataque epiléptico, mas fechar um olho pode atenuar esse efeito. Neste caso, a maior sensibilidade binocular é uma desvantagem. A deficiência associada ao brilho que interfere com a visão ou provoca desconforto também parece ser mais perceptível quando visto binocularmente do que monocularmente. Este é também um caso em que a maior sensibilidade adquirida pela visão binocular é uma desvantagem.

BIBLIOGRAFIA

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.