



ESTEREOPSIA I

AUTOR

Thomas Salmon: Northeastern State University, USA

REVISOR

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, USA

RESUMO DE PERCEPÇÃO DE PROFUNDIDADE

PERCEPÇÃO VISUAL

- A. O que as coisas são (processamento de imagem)
 - 1. Visão espacial (Formação da imagem na retina, processamento neural, Sensibilidade ao contraste, etc.)
 - 2. Percepção de cor
 - 3. Visão Temporal
 - 4. Adaptação Visual
- B. Onde estão as coisas (percepção espacial)
 - 1. Direcção visual
 - Localização oculocêntrica
 - Localização egocêntrica
 - 2. Percepção de profundidade
 - Pistas de profundidade monocular
 - Pistas pictóricas (tamanho, interposição, perspectiva linear, sombras, etc.)
 - Paralaxe de movimento
 - Efeito de profundidade cinético
 - Percepção binocular de profundidade
 - Estereopsia

GEOMETRIA DA ESTEREOPSIA

Como aprendemos anteriormente, a **estereopsia** é considerada o benefício mais importante da visão binocular. Entre os diferentes níveis de fusão binocular (graus de fusão de Worth), o mais alto é a estereopsia. A estereopsia dá-nos uma percepção de profundidade extremamente fina ao perto e melhora significativamente a nossa percepção de espaço. O teste de *estéreo acuidade* é um dos testes mais importantes que pode fazer no exame visual pediátrico, porque ele fornece muita informação sobre o desenvolvimento do sistema visual de uma criança. A **estereopsia** é o único sentido de percepção de profundidade que é estimulado pela **disparidade retiniana**.

P O que é a disparidade retiniana?

R A estereopsia é baseada no facto de que cada olho vê o mundo a partir de uma posição um pouco diferente. Enquanto o movimento de paralaxe, uma pista de profundidade monocular, fornece diferentes pontos de vista de um objecto em diferentes momentos, a estereopsia ganha vantagem pelo facto dos nossos olhos fornecerem diferentes visualizações de um objecto em alturas diferentes. Isso às vezes é chamado de **paralaxe binocular**.

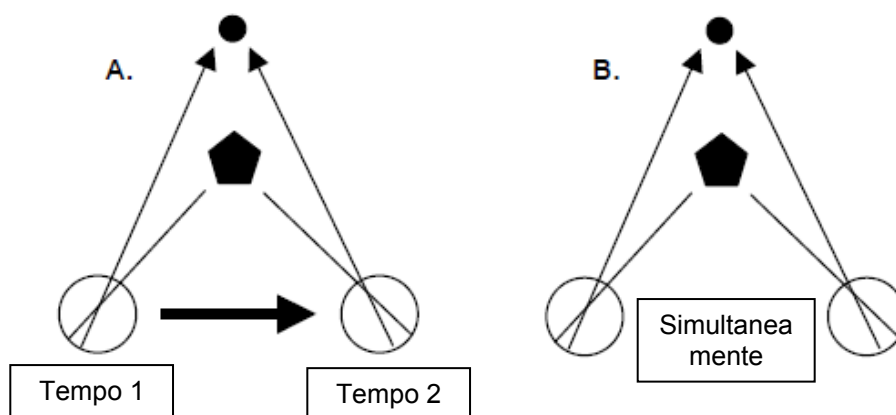


Figura 26.1 Comparação paralaxe de movimento (A) e paralaxe binocular (B).

Uma vez que a estereopsia fornece uma percepção *relativa* (não absoluta) de percepção de profundidade, só pode existir quando pelo menos dois objectos são vistos. Considere o caso de olhos que estão a fixar um objecto ao perto (não assuma nenhuma disparidade de fixação). Para que qualquer outro objecto seja visto em profundidade estereoscópica, deve ser localizado à frente ou por detrás do ponto de fixação. No caso de objectos localizados no campo periférico, devem estar localizados de forma distante ou próxima ao horóptero para estimular a estereopsia.

P Porque não haveria percepção de profundidade estereoscópica entre o ponto de fixação e um outro ponto que está localizado sobre o horóptero?

R Qualquer objecto localizado fora o horóptero teria uma pequena quantidade de disparidade nas imagens da retina dos dois olhos. Ou seja, as imagens da retina terão direcções visuais ligeiramente diferentes (direcções oculocêntricas) nos dois olhos. *Esta disparidade na retina é o que estimula a estereopsia*, e a quantidade de disparidade pode ser computada no espaço do objecto pela geometria mostrada na Figura 26. 2..

Quando dois objectos estão localizados em diferentes distâncias, o ângulo vergencial, para cada um é diferente. O intervalo de profundidade pode ser quantificado como uma distância linear (ΔD), mas geralmente expressamos disparidade como uma diferença angular. A disparidade angular *no espaço objecto* é referida como a **disparidade geométrica**.

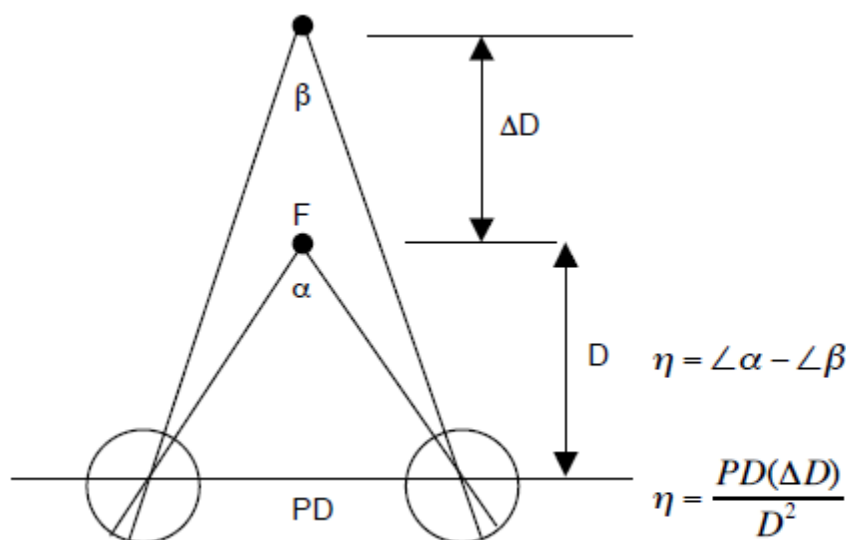


Figura 26.2 A geometria da estereopsia.

A disparidade geométrica (η) é a diferença entre ângulos α e β , apresentados na Figura 26.2. Também pode calcular a disparidade angular usando a fórmula abaixo, a qual usa a distância de desfasamento (ΔD), a distância para fixação (D) e a distância pupilar (PD). Se todas as unidades lineares são as mesmas (ou seja, milímetros ou metros), o valor de η será em radianos. A fórmula para o cálculo da disparidade binocular (η) do deslocamento linear (ΔD) é derivada da seguinte forma:

$$\angle \alpha = \frac{PD}{D} \quad \angle \beta = \frac{PD}{(D + \Delta D)}$$

$$\eta = \angle \alpha - \angle \beta$$

$$\eta = \frac{PD}{D} - \frac{PD}{(D + \Delta D)} = \frac{PD(D + \Delta D) - PD(D)}{(D + \Delta D)}$$

$$\eta = \frac{PD(D) + PD(D + \Delta D) - PD(D)}{D(D + \Delta D)}$$

$$\eta = \frac{PD(\Delta D)}{D^2 + D(\Delta D)}$$

... Equação 26.1

Quando a distância de fixação está próxima, por exemplo distância semelhante ao comprimento do braço, o valor para ΔD será muito pequeno em comparação com D (ΔD), então o segundo termo o qual é o denominador, $D(\Delta D)$, vai estar muito próximo de zero. Às vezes é anulado para simplificar a fórmula de disparidade para:

$$\eta = \frac{PD(\Delta D)}{D^2} \quad \text{...Equação 26.2}$$

Isso permite que se consiga calcular a disparidade em radianos (se PD , ΔD e D estão todos nas mesmas unidades). Para converter o valor para η de arco segundos, a qual é a unidade normalmente utilizada para a disparidade estereoscópica, deve multiplicar η por 206,265. Portanto, por vezes, verá esta fórmula escrita da seguinte forma:

$$\eta = \frac{PD(\Delta D)}{D^2} (206,265)$$

...Equação 26.3

Note que, neste caso, o valor para η será em segundos de arco.

Nalgumas referências de visão binocular, o ângulo de disparidade geométrica é calculado como a diferença entre ângulos l e r , mostrado na Figura 26.3. Isto dá a mesma resposta que a diferença entre ângulos α e β , contanto que seja um sinal de convenção consistente ao medir os ângulos.

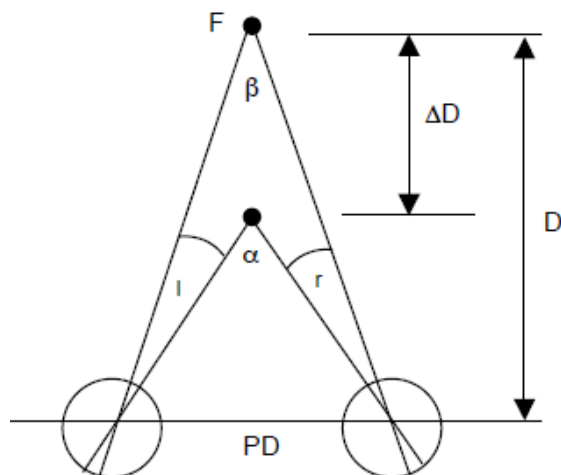


Figura 26.3 Os ângulos referidos em problemas de estereopsia.

RELAÇÃO ENTRE DISPARIDADE RETINIANA E GEOMÉTRICA

Lembre-se que a **disparidade geométrica** é a diferença entre os ângulos vergenciais ao ponto de fixação e outro objecto. Ao considerar a estereopsia geralmente calculamos a disparidade no espaço objecto, mas temos vindo a fazer a suposição de que a disparidade geométrica e a disparidade da retina são iguais. Isso é verdade, ou é apenas uma aproximação?

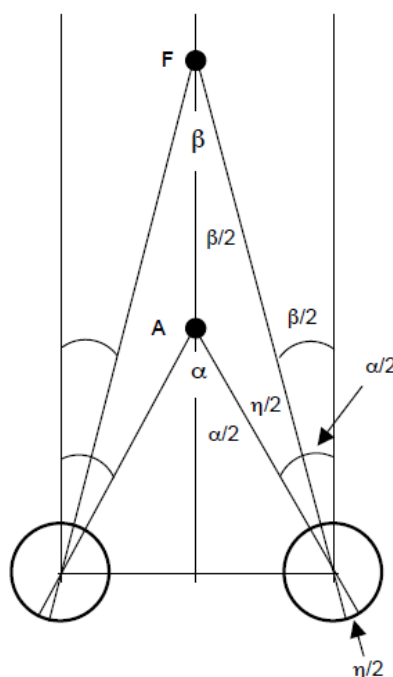


Figura 26.4 Disparidade Geométrica e Retiniana.

Considere um objecto que está fixado na fóvea (F) e outro objecto localizado na linha mediana (A). No diagrama anterior, definimos a disparidade geométrica horizontal (η) como $\alpha - \beta$ ângulo:

$$\eta = \angle \alpha - \angle \beta \quad \dots \text{Equação 26.4}$$

Se dividirmos os ângulos α e β na linha média, verificamos que os ângulos internos alternativos ($\alpha/2$) e ($\beta/2$), podem ser medidos a partir da linha da direita, que acompanha a linha mediana. Para o olho direito, o intervalo da metade angular entre os pontos F e A é:

$$\eta/2 = \angle \alpha/2 - \angle \beta/2 \quad \dots \text{Equação 26.5}$$

Observe que ângulo $\eta/2$ é o tamanho angular do intervalo (FA) na retina de cada olho. Na retina direita, a imagem do ponto A está localizada a um ângulo de $\eta/2$ para a direita (temporal) da fóvea. A mesma geometria seria aplicável para o olho esquerdo, excepto que seria a imagem espelho da direita. Portanto, na retina à esquerda, a imagem de A estará localizada a um ângulo de $\eta/2$ para a esquerda da fóvea. A imagem de A incide nos pontos não correspondentes da retina, e a disparidade angular total é igual a:

$$\eta/2 + \eta/2 = \eta \quad \dots \text{Equação 26.6}$$

Portanto, a disparidade retiniana total para ponto A (quando está a fixar o ponto F) é igual à disparidade geométrica do ângulo η , o qual é a diferença entre os ângulos α e β . Para resumir:

- Qualquer objecto situado mais perto ou mais longe do que o ponto de fixação terá um ângulo de disparidade geométrica, relativo ao ponto de fixação.
- Uma vez que as fóveas estão viradas para o ponto de fixação, qualquer objecto situado mais perto ou mais longe vai estimular os pontos da retina não correspondentes.
- Pontos da retina não-correspondentes são pontos dispares; ou seja, têm diferentes direcções visuais em cada retina.
- A disparidade da retina angular total (somada entre os olhos) será igual à disparidade geométrica.

DISPARIDADE BINOCULAR E PERCEPÇÃO DE PROFUNDIDADE

Por causa da separação horizontal dos olhos, as disparidades geométricas horizontais dão origem à percepção de profundidade estereoscópica. Disparidades geométricas horizontais são uma pista de profundidade muito mais poderosa ao perto.

- Dado um intervalo fixo entre dois pontos, os ângulos de paralaxe binoculares são maiores para objectos de perto.
- Por conseguinte, as diferenças entre ângulos de paralaxe (disparidade geométrica), também são maiores. Isso é ilustrado na Fig. 5-5 em Refracção Clínica do Borish.
- Nessa figura, a disparidade geométrica está relacionada com o comprimento do lápis.
- Se o ângulo de disparidade se tornar menor, o lápis parece tornar-se mais pequeno quando deslocado para mais longe?
- Se a distância percebida entre os objectos era de uma função directa da disparidade geométrica horizontal, o lápis deve parecer tornar-se mais pequeno, à medida que se desloca para mais longe.

O facto de isto não acontecer é prova de que o sistema visual depende de outras informações para além da disparidade para calcular as distâncias relativas ou tamanho dos objectos. O sistema visual faz uso de todas as pistas, monoculares e binoculares, (bem como outras informações, tamanho do objecto conhecido) ao calcular a percepção de distância.

RESUMO DE FACTOS SOBRE ESTEREOPSIA

- Sentido especial de percepção de profundidade que é exclusivo para visão binocular
- A percepção de profundidade é *relativa*, não absoluta.
- Requer pelo menos dois objectos para comparação.
- É possível por causa da **paralaxe binocular** ou seja, os dois olhos visualizam objectos a partir de diferentes posições.
- A imagem do objecto de fixação incide nos pontos correspondentes (fóveas), mas objectos mais próximos ou mais distantes da fixação incidem em diferentes pontos da retina.
- **Disparidade retiniana** é o estímulo para a estereopsia.
- A disparidade da retina pode ser medida no espaço objecto. Isto é chamado de **disparidade geométrica**. Como apresentado na Figura 13.3, a disparidade geométrica é igual ao ângulo α - β ou também pode ser especificado como ângulo l-r. Isto também é válido para dois objectos sobre a linha mediana, mas nesse caso os ângulos, l e r têm sinais opostos. Você também pode especificar a disparidade em termos lineares, tais como a ΔD de distância.

A estereopsia é possível ao longo de um intervalo de disparidades da retina. A disparidade mínima que pode ser usada para desenvolver um tipo de percepção de estereopsia é de **2-10 segundos de arco**. É possível ver imagens em estereopsia com disparidades tão grandes quanto 600 segundos de arco (10 minutos de arco). Em teoria, a zona de estereopsia em ambos os lados do horóptero excede ligeiramente a área do Panum. Portanto, ainda pode perceber profundidade estereoscópica mesmo depois de ter diplopia.

Lembre-se da fórmula aproximada que relaciona a profundidade linear (a partir de fixação) com a disparidade angular.

$$\eta = PD(\Delta D)/D^2$$

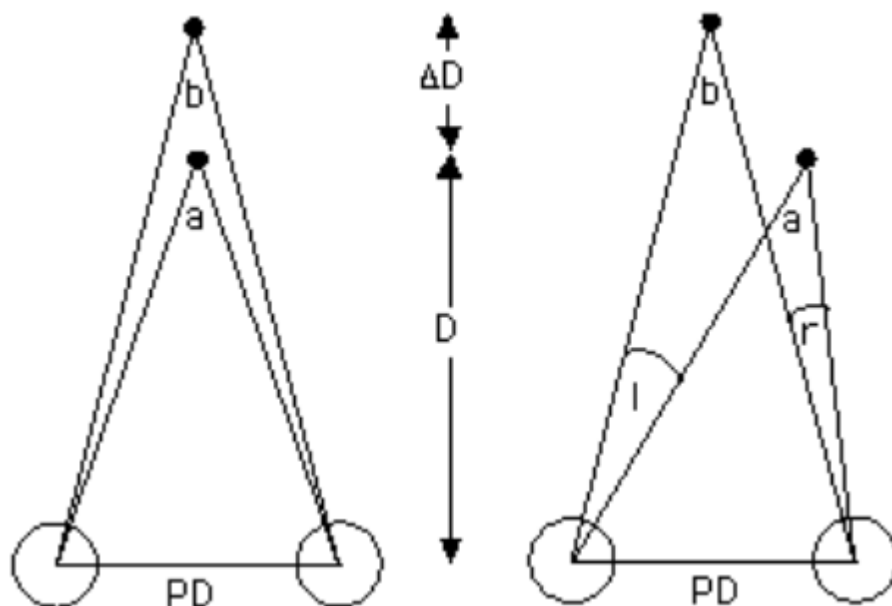


Figura 26.5 As disparidades causadas por objectos a distâncias diferentes dão origem à estereopsia e à disparidade retiniana.

Para ter uma percepção de quão boa é a estereopsia, calcule o seguinte:

P Qual é a disparidade angular para um objecto localizado 1 mm (ΔD) mais perto que o ponto de fixação, se a distância de fixação é 40 cm (400 mm) e a PD 64 mm?

$$\eta = PD(\Delta D) / D^2 = 64(1) / (400)^2 = 64 / 160000 = 0.0004$$

Isto dá a resposta em radianos. Converta em segundos de arco. Isto equivale a 82.5 segundos de arco, uma grande disparidade!

P Em teoria, uma pessoa com visão binocular normal deve ser capaz de ver em estereopsia com apenas 10 segundos de arco de disparidade. Que quantidade de distância de desfasamento (ΔD) corresponde a este montante de disparidade? Use os mesmos parâmetros para PD e D como no problema anterior.

Em primeiro lugar, converta 10 segundos de arco em radianos. É igual a 0.000048 radianos. Reorganizar a equação e resolver para ΔD .

$$\eta(D^2) / PD = \Delta D = (0.000048)(400^2) / 64 = 0.12 \text{ mm}$$

A uma distância de 40 cm, deve ser capaz de dizer, usando a estereopsia, que outro objecto está mais perto do que a fixação do ponto quando deslocado apenas 0,12 mm. Isso mostra a incrível eficácia binocular da estereopsia para julgar a profundidade relativa a distâncias de perto.

P Como é que as diferenças em PD afectarão a estereopsia? (Consulte a fórmula)

LIMITES DA ESTEREOPSIA

Se a quantidade de disparidade for muito pequena, é insuficiente para estimular a estereopsia. Como mencionado anteriormente, a maioria dos livros didáticos consideram o limiar de disparidade angular para a estereopsia, também conhecido como o **limiar de estereoacuidade para ser 2-10 segundos de arco**, o qual é um ângulo muito pequeno.

Se um objecto é deslocado para mais longe do seu ponto de fixação, a sua disparidade geométrica e retiniana aumentará. Eventualmente a disparidade retiniana tornar-se-á tão grande que irá ultrapassar a área do Panum, e o objecto será visto em diplopia. Isso está perto da quantidade máxima da disparidade que pode causar estereopsia. A estereopsia é possível ao longo de um intervalo de distâncias que se estendem de posições distantes a próximas do horóptero. Isso é ilustrado na **Fig. 5-6** Borish's Clinical Refraction, a qual apresenta:

- O ponto de fixação e o horóptero estão localizados no centro da zona de estereopsia.
- Em ambos os lados do horóptero é a zona de fusão binocular, onde as imagens são vistas em haplopia (visão única). Isso corresponde à extensão espacial do espaço do Panum (área)
- Para além deste ponto, as imagens são vistas em diplopia.
- O lado esquerdo da Figura 5-6 em Borish's Clinical Refraction mostra uma zona estreita em ambos os lados do horóptero em que é possível estereopsia patente. Este é o termo usado por Ogle para estereopsia de alta qualidade, em que a magnitude aparente da profundidade do objecto (estereopsia quantitativa) é proporcional à disparidade. Esta zona estende-se por uma curta distância fora da área do Panum.
- Para além disto há uma zona em que objectos podem ser mais ou menos percebidos como estando mais perto ou mais longe do que a fixação, mas a magnitude de profundidade não pode ser percebida. Uma vez que estão fora da área do Panum, eles também são vistos como diplopia. Isso é conhecido como a região de estereopsia qualitativa ou latente.
- Para além deste ponto, a disparidade é muito grande; os objectos são simplesmente vistos em duplicado, mas com nenhuma percepção de profundidade estereoscópica.
- Observe que as zonas são mais amplas no campo visual periférico.

BIBLIOGRAFIA

- Schwartz S. **Visual Perception - 2nd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, CT, 1999. Chapter 10.
- Steinman et al. **Foundations of Binocular Vision**. McGraw-Hill, New York, 2000. Chapter 7.
- Cline D, Hofstetter HW and Griffin JR. **Dictionary of visual science. 4th Edition**. Butterworth-Heinemann, Michigan. 1997.
- 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.
- Kaufmann PL, Alm A and Francis HA. **Adler's Physiology of the Eye, 10th Ed**. Mosby, St. Louis, 2003.
- Schor CM and Cuifreda 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.
- 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.