



O HORÓPTERO EMPÍRICO

AUTOR

Thomas Salmon: Northeastern State University, USA

REVISOR

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, USA

REVISÃO DO HORÓPTERO TEÓRICO

- Q** O que é um horóptero?
- Q** O que é o círculo de Vieth-Müller?
- Q** Quais são algumas das considerações utilizadas para o desenho do círculo de Vieth-Müller?
- Q** Quais são algumas características do círculo de Vieth-Müller?

AREA DE PANUM

Objetos localizados exactamente no horóptero são vistos como fusionados, mas o que é que acontece se o objeto está ligeiramente fora do horóptero, quer mais próximo ou mais afastado?

Dentro de uma curta distância para ambos os lados do horóptero, os objectos continuaram a ser vistos como fusionados. Estritamente falando, eles caem em pontos retinianos correspondentes.

- Q** Baseado nas Leis de Hering das direcções visuais oculocêntricas, pode explicar porque motivo caem em pontos não-correspondentes?
- A** Uma vez que os pontos no horóptero não têm disparidade (isto é, a mesma direcção visual em cada olho), os pontos fora do horóptero têm disparidades, a qual aumenta quanto se afasta do horóptero. No entanto, em vez disto, se as disparidades não forem demasiado grandes o cérebro é ainda capaz de efetuar fusão sensorial. A zona em ambos os lados do horóptero na qual é ainda possível ver objetos únicos (i.e. fusão sensorial), é conhecida como **espaço de Panum**. Isto corresponde a uma área na retina, designada **área de Panum**.

O espaço de Panum é uma zona estreita em ambos os lados do horóptero, no ponto de fixação e que se expande para a periferia. Isto reduz a probabilidade de diplopia na periferia enquanto se fixa em objectos planos, tais como um livro ou uma página. Uma vez que o horóptero é curvo, os planos, tais como um livro, afastam-se do horóptero em visão periférica, mas permanecem dentro do espaço de Panum. Lembre-se também que os campos recetivos e acuidade visual são também mais fracos na periferia.

As áreas de Panum não têm um tamanho fixo, mas variam dependendo das condições do estímulo. São mais largas para objetos em movimento, mas mais estreitas para objectos com detalhe e estacionários.

Os objetos longe do horóptero, isto é, objetos que estão fora do *espaço de Panum* (*área de Panum*), causam disparidades muito grandes e não podem ser fusionados. Eles são desta forma vistos em diplopia. Lembre-se que a

presença de grandes disparidades significa que existem grandes diferenças nas direcções visuais de cada olho para o objecto diplópico. A definição de diplopia consiste num objecto visto em duas direcções visuais diferentes.

ESTEREÓPSIA

Para pequenas quantidades de disparidade, isto é, para objectos localizados numa região para ambos os lados do horóptero, o cérebro analisa as disparidades e é capaz de processar a distância relativa do objecto a partir do horóptero. Este sentido de percepção de profundidade que é estimulado por pequenas quantidades de disparidade retiniana é conhecida como **estereopsia**.

Em 1939, Wheatstone descobriu isto quando observou que uma pequena quantidade de disparidade retiniana nas imagens de um objeto gera uma profundidade de foco considerável. *Objectos localizados no horóptero, não têm disparidade, e assim parecem estar localizados à mesma distância relativa do observador como o ponto de fixação.*

Se, no entanto, ao fixar um ponto no horóptero, for movido outro objecto em direcção ao observador para fora do horóptero, irá ser criada uma pequena quantidade de disparidade retiniana nas imagens retinianas do objecto próximo. Isto é ilustrado na Figura 19.1.

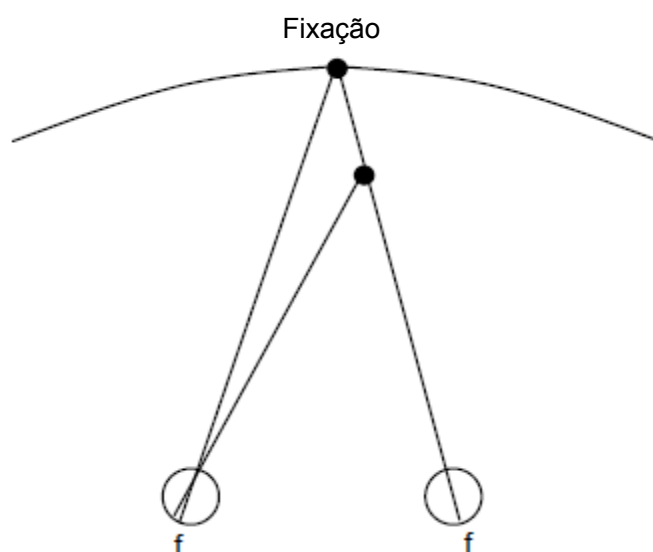


Figura 19.1 Mover um objecto ligeiramente para fora do horóptero cria uma pequena disparidade retiniana que estimula a percepção de profundidade estereoscópica.

Se a disparidade for demasiado pequena, não irá ser suficiente para produzir a sensação de profundidade estereoscópica. A distância mínima que um objecto pode ser deslocado para fora do horóptero e estimular sensação de estereopsia é o limiar de estereopsia. A disparidade é normalmente expressa em termos angulares, por exemplo, 40 segundos de arco. Pode ser calculado tal como mostrado na Figura 19.2 como a diferença entre o ângulo de convergência no ponto de fixação e os estímulo estereoscópico (ângulo α ângulo β).

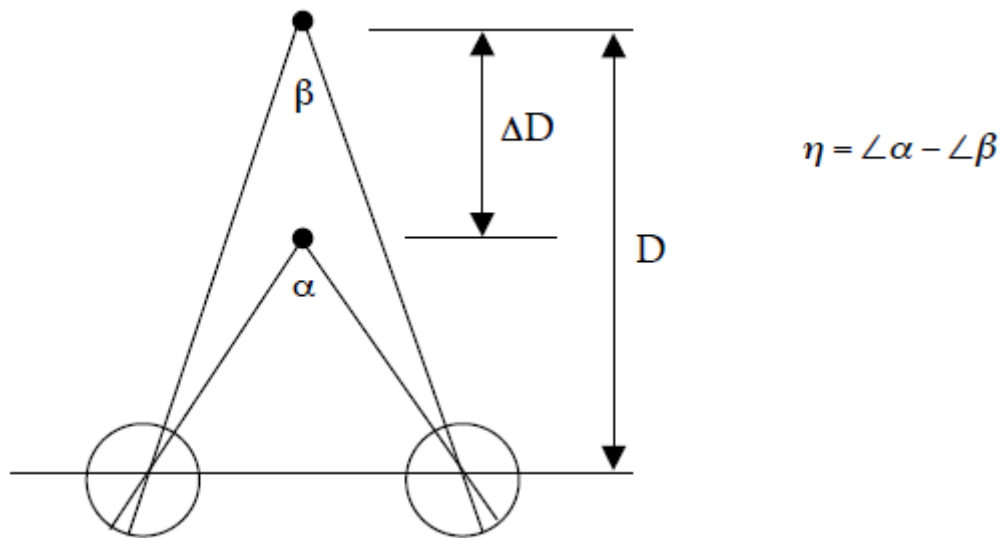


Figura 19.2 Geometria da disparidade. A letra Grega pequena eta (η) é utilizada para disparidade.

A Figura 19.3 mostra um intervalo, em cada um dos lados do horóptero, para estereopsia e área de Panum. Isto é para objectos estáticos localizados perto do ponto de fixação. As áreas de Panum estendem-se aproximadamente ± 600 segundos de arco (10 minutos de arco) para cada um dos lados do horóptero. Notar que dentro de um intervalo estreito perto do horóptero, a estereopsia não existe. Isto deve-se às disparidades serem demasiado pequenas para estimular estereopsia.

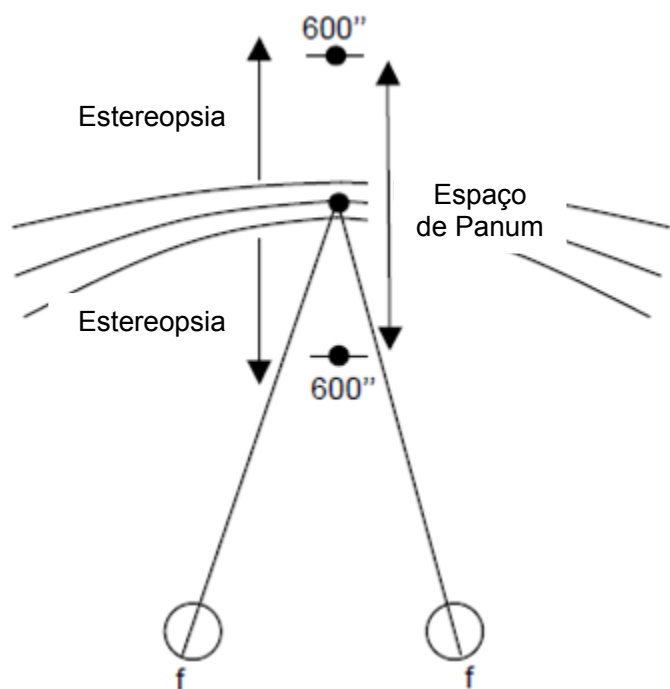


Figura 19.3 Relação entre horóptero, área de Panum e área de estereopsia.

O HORÓPTERO EMPÍRICO

O círculo de Vieth-Müller representa o horóptero teórico, mas também pode medir o horóptero em laboratório. O horóptero que vai efectivamente medir é designado por **horóptero empírico**. Foram desenvolvidas várias técnicas para medir o horóptero de um indivíduo.

Técnica PFPA

Hering tentou medir um horóptero empírico alinhando um pequeno número de pontos localizados em cada um dos lados do ponto de fixação. Neste caso, os pontos que estão equidistantes do observador deveriam parecer projetados num plano que é paralelo à face do observador. Um horóptero medido com esta técnica é conhecido com um **horóptero do plano fronto-paralelo aparente (PFPA)**. Entre outros métodos, este é o mais popular, por ser relativamente simples. **Steinman Fig. 4-5** ilustra a técnica PFPA.

Para além do método PFPA, outras técnicas foram desenvolvidas para medir o horóptero empírico. Estas incluem o horóptero de limiar de diplopia, horóptero de estereocuidade e horóptero “nonius”.

Técnica do Limiar da Diplopia

Uma vez que o verdadeiro horóptero deve estar no centro do espaço de Panum, outra forma de medir o horóptero empírico é encontrar os limites do espaço de Panum, e depois calcular o seu centro. O indivíduo fixa uma coluna central e as colunas periféricas são movidas para dentro e para fora até que a diplopia é observada. Isto é repetido muitas vezes, os limiares de diplopia de longe e perto são traçados para delimitar o espaço de Panum e o ponto médio é calculado para encontrar o horóptero. (**Steinman Figs. 4-7, 4-8**) O problema com esta técnica é que é difícil para os indivíduos julgarem quando é que vêem diplopia pela primeira vez, especialmente na periferia, onde o espaço de Panum começa a alargar.

Horóptero de Estereo Acuidade

Uma outra forma de medir o horóptero é medir os limites próximos e distantes da zona de estereopsia zero. (**Steinman Fig. 4-9**)

Horóptero de Nonius

A técnica de “nonius” é considerada o método mais preciso para a medição do horóptero empírico. Foi baptizado após Nunes, um matemático português ter desenvolvido a escala tipo Vernier em 1500. Tschermark, em 1900 foi a primeira pessoa a usar a técnica de Vernier binocular para medir o horóptero. O aparelho de Nonius é semelhante ao dispositivo de Howard-Dolman, excepto que as partes superiores das linhas são apenas vistas com um olho, e parte média inferior é vista pelo outro olho. Isto pode ser alcançado utilizando polarizadores ou marcas. Enquanto fixa a coluna central, o indivíduo deve alinhar as metades superiores e inferiores de cada coluna periférica. (Ver Fig. 24-7, **em Bishop**, Binocular Vision, em *Adler's Physiology of the Eye*, 8ª edição, p. 626) Ver também **Steinman Fig. 4-2** (p. 84).

Este é um tipo de tarefa de Vernier, e é como tal muito precisa. Uma vez que as colunas superiores e inferiores são todas elas vistas monocularmente, as colunas nunca são fusionadas e estimulados pontos não-correspondentes (direcções oculocêntricas visuais diferentes), desde que estejam fora do horóptero. Desta forma parecem estar desalinhadas. As colunas irão parecer estar alinhadas quando ambas têm a mesma direcção visual oculocêntrica, o que é a definição de horóptero. O horóptero de nonius é desta forma considerado o método mais puro e directo de medição do horóptero verdadeiro. Em todas estas técnicas, os horópteros não são normalmente medidos para além dos 15 graus de excentricidade. Mesmo a 12°, técnicas de PFPA e diplopia são muito difíceis de utilizar, mas o alinhamento de nonius é mesmo assim possível.

COMPARAÇÃO DO HORÓPTERO EMPÍRICO E HORÓPTERO TEÓRICO

A figura 19.4 mostra como vários horópteros empíricos medidos a diferentes distâncias de fixação pelo método de PFPA, representam o Círculo de Vieth-Müller (horóptero teórico). Lembre-se que na teoria, o horóptero deverá ser um círculo, e o diâmetro do círculo irá aumentar quanto maior forem as distâncias de fixação. No infinito, deverá aproximar-se a uma linha plana. O horóptero empírico diferencia-se do horóptero teórico de várias formas:

- As colunas (pontos) estão localizadas no círculo de Vieth-Müller.
- A distância a partir do círculo de Vieth-Müller é diferente para as diferentes distâncias de fixação.
- A forma do horóptero empírico muda para diferentes distâncias de fixação e nem sempre é um círculo.

Para distâncias de fixação curtas o arco é côncavo na direcção do observador. Numa determinada distância, conhecida como a **distância abática**, o horóptero de PFPA torna-se plano. A distância abática pode ser de 1 a 6 metros, dependendo do indivíduo. Para além da distância abática o horóptero de PFPA torna-se convexo. A diferença entre o horóptero medido e o horóptero teórico para a distância de teste é conhecida como o **desvio de Hering-Hillebrand**. Isto está representado na Figura 19.4.

A técnica de nonius fornece resultados ligeiramente diferentes dos do método PFPA, mesmo assim, normalmente não coincide com o círculo de Vieth-Müller, embora eles estejam mais próximos que os métodos de PFPA e o método da diplopia. O horóptero de nonius também se torna mais plano quanto mais for a distância de observação.

Teoricamente, para fixação simétrica em relação à linha mediana, o horoptero existe apenas no plano horizontal e numa linha vertical que passa pelo ponto de fixação. Todos os outros pontos no espaço irão estimular locais da retina dispares. Com fixação assimétrica, o horoptero fica torcido numa curva complexa (Tyler Fig. 2.5, 6, no capítulo do Christopher Tyler, *The Horopter and Binocular Fusion*, in *Binocular Vision*, editado por Regan, 1991). Os horópteros mostrados nas figuras de Tyler representam pontos de disparidade zero no espaço tridimensional e são conhecidos como horópteros de ponto.

O objectivo é entender os princípios básicos da fusão binocular, e para esse efeito, é suficiente limitar a consideração do horoptero ao plano horizontal. O horóptero horizontal é normalmente medido, alinhando as barras verticais, semelhantes aquelas do aparelho de Howard Dolman.

Porque usa barras verticais para medir o horóptero, o horóptero horizontal é por vezes também designado horóptero longitudinal (ver Steinman Fig. 4-3 or Fig. 24-4 in *Adler's Physiology of the Eye*, ninth edition, 1992, p. 776).

MOTIVO PARA O DESVIO DE HERING-HILLEBRAND

Porque motivo as medições com o horóptero empírico, mesmo quando efetuadas utilizando o método de nonius, não estão de acordo com o círculo de Vieth-Müller? Isto pode ser devido a irregularidades na distribuição das direcções visuais entre os dois olhos, ou a distorção ótica a imagem retiniana. Isto não é tido em consideração pelo círculo de Vieth-Müller. Lembre-se as considerações iniciais sobre o círculo de Vieth-Müller:

- Ambas as retinas são esféricas.
- Ambas as retinas têm uma distribuição simétrica dos sinais locais ao longo da retina nasal e temporal.
- A retina direita e esquerda têm o mesmo tamanho com a mesma geometria de sinal local.

Retinas Esféricas

A consideração de globos oculares redondos é a primeira aproximação para a maioria dos olhos normais, mas pode não se aplicar a todas as pessoas, especialmente para míopes. Podem ter globos que estão ligeiramente alongados, e isto pode distorcer o horóptero. Mas o desvio de Hering-Hillebrand é visto mesmo em olhos normais.

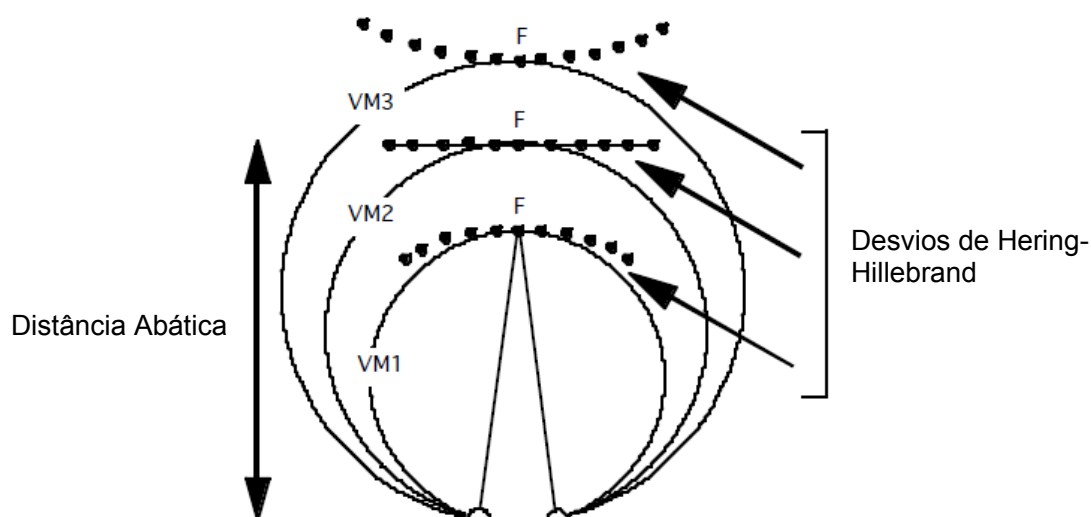


Figura 19.4 Exemplos de horóptero de PFFA (pontos) medido a diferentes distâncias de fixação.
Ver também **Steinman Fig. 4-17**.

Assimetria Retiniana

Uma explicação para o desvio de Hering-Hillebrand é a distribuição assimétrica das direcções visuais oculocêntricas (sinais locais) dentro da retina. Lembre-se que na construção de um horóptero, a direcção visual associada com a retina nasal num olho é combinada com a direcção visual na direcção temporal do outro olho. Estudos histológicos mostram que os fotoreceptores estão distribuídos de forma mais densa na retina nasal do que na retina temporal. Esta assimetria nasal-temporal pode fazer com o horóptero se desvie do círculo de Vieth-Müller. Isto pode também explicar porque motivo a forma do horóptero pode mudar de côncava para plana, depois para convexo, com diferentes distâncias de observação (Figura 19.5).

Em adição à assimetria regional nos sinais locais num olho, a distribuição entre os dois olhos pode não ser congruente. Isto pode também causar distorção do horóptero. Um mapeamento assimétrico da retina para o córtex nos dois olhos pode também fazer com que o horóptero se desvie do círculo de Vieth-Müller.

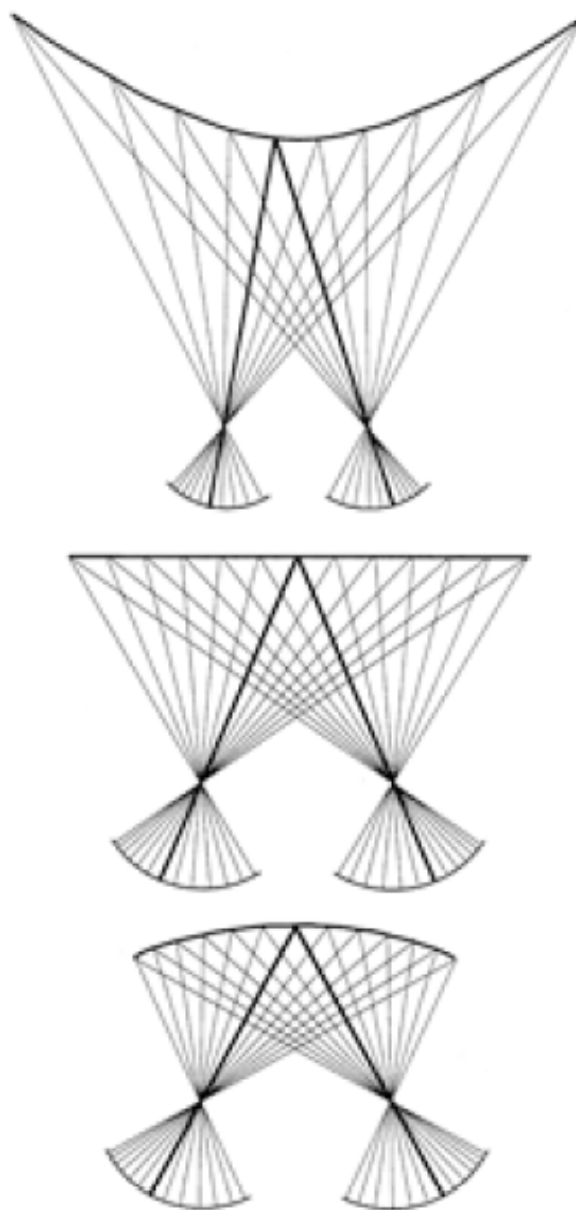


Figura 19.5 Mostra a distorção esperada no horóptero causada pela compressão dos sinais locais temporais.
De Howard & Rogers, *Binocular Vision*, p. 54 e <http://www.perceptionweb.com/perc0599/editorial.html>

Distorção óptica

Distorção óptica pode contribuir para o desvio de Hering-Hillebrand, especialmente se a magnificação ótica entre os dois olhos é diferente. Se a imagem de um olho é magnificada, o horóptero de PFPA irá inclinar-se em torno do ponto de fixação, tal como demonstrado na Figura 19.6 (reproduzido de 11-6 em Reading). Os pontos terminais verdadeiros da linha fronto-paralela estão indicados pelos pontos P e Q. Assumindo que não existe magnificação da imagem, a imagem retiniana destes pontos iriam ser os pontos p e q em ambas as retinas. A imagem direita ampliada está representada pelos pontos p' e q'. Fazendo o traçado destes fora do olho e encontrando a intersecção correspondente com o eixo visual do olho esquerdo, nós podemos perceber a localização da linha fronto-paralela. **O lado magnificado parece estar mais afastado.**

Porque um plano fronto-paralelo parece estar inclinado e afastado do olho com maior magnificação, o indivíduo irá mover essas colunas para mais perto para coincidir com o plano fronto-paralelo. Assim se o horóptero estiver inclinado, indica uma magnificação retiniana maior no lado inclinado mais próximo do olho.

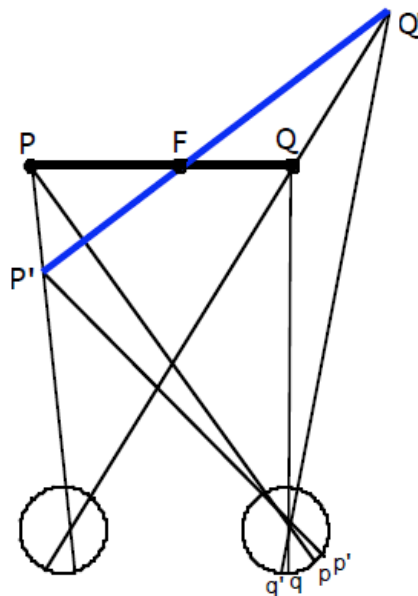


Figura 19.6 Distorção óptica causa inclinação do plano fronto-paralelo. (Ver Borish Fig. 5-18)

Disparidade de Fixação

Uma disparidade de fixação pode também fazer com que o horóptero empírico se afaste do horóptero teórico. Numa disparidade de fixação, os eixos visuais dos dois olhos falham em convergir perfeitamente para o ponto de fixação, uma vez que eles estão ligeiramente hiper ou hipo convergidos com respeito ao ponto de fixação, eles ainda têm uma disparidade residual. Steinman fornece uma boa explicação para isto na página p. 87-88.

BIBLIOGRAFIA

- Benjamin, W. **Borish's Clinical Refraction**. WB Saunders, Philadelphia. 2006.
- Ciuffreda KJ and Tannen B. **Eye Movement Basics for the Clinician**. Mosby, St. Louis, 1995.
- Goss DA. **Ocular accommodation, convergence, and fixation disparity: A manual of clinical analysis**. Butterworth-Heinemann, Michigan. 1995.
- Griffin JF. **Binocular Anomalies - Diagnosis and Vision Therapy, 3rd Edition**, Butterworth-Heinemann, 1995.
- Hart W. **Adler's Physiology of the Eye, 9th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1992.
- Kandel. **Essentials of Neural Science and Behavior**, Appleton & Lange, 1995.
- Kaufmann, PL. **Adler's Physiology of the Eye, 10th Ed**. Mosby, St. Louis, 2003.
- McCormack GL. In **Borish's Clinical Refraction WB Saunders**, Philadelphia. (1998),
- Moses, RA. **Adler's Physiology of the Eye, 8th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1987.
- Reading RW. **Binocular Vision**. Butterworth Publishers, Woburn, MA, 1983.
- Schor CM and Ciuffreda KJ. **Vergence eye movements: Basic and clinical aspects**. Butterworth, Michigan. 1983.
- Schwartz S. **Visual Perception - 2nd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, CT, 1999.
- Steinman et al. **Foundations of Binocular Vision**. McGraw-Hill, New York, 2000. Chapter 4, pp 83-100.
- Tyler CW. **The horopter and binocular fusion**. In Regan D, Binocular Vision. London: Macmillan; 1991
- Von Noorden GK. **Binocular Vision and Ocular Motility - 5th Edition**. Mosby, St. Louis. 1996.