

# VERGÊNCIAS COMBINADAS, FUSÃO SENSORIAL E O HORÓPTERO

## AUTOR

**Thomas Salmon:** Northeastern State University, USA

## REVISOR

**Scott Steinman:** Southern California College of Optometry, USA

## REVISÃO DE FUSÃO MOTORA E VERGÊNCIAS

Seis categorias diferentes de movimentos oculares vergenciais

- Disparidade vergencial – estimulado pela disparidade retiniana
- Vergência acomodativa – estimulado pela acomodação
- Vergência tónica – Enervação basal dos MEO na ausência de estimulação visual
- Adaptação vergencial – estimulado pela disparidade vergencial e vergência acomodativa; assume o comando dos mesmos ao longo do tempo
- Vergência Próximal – estimulado pela percepção da proximidade do objecto
- Vergência Voluntária

Estes mecanismos são controlados por centros individuais no cérebro e trabalham em conjunto para promover a **fusão motora**; isto é, têm como objectivo os olhos de forma que as imagens caiam em **pontos correspondentes**

## INTER-RELAÇÕES VERGENCIAIS

**Figura 5-16 no Capítulo McCormack's** (Capítulo 5 do Borish) sumariza a inter-relação entre as diferentes componentes vergenciais.

A vergência tónica (VT) tem a função em trazer o olho da sua posição anatómica de repouso (cerca de 17 dioptrias prismáticas de exoforia) para uma posição paralela ou próxima do paralelo. Se fixar um objecto próximo, a vergência proximal (VP) estimula um movimento convergente amplo, que aproxima os olhos o suficiente para que a disparidade vergencial (DV) e vergência acomodativa (AC/A) trabalhem.

Se a fixação próxima for sustida, a enervação da disparidade vergencial (EDV) e enervação da vergência acomodativa (EVA) estimulam a adaptação vergencial (AV), que assume o controlo em crescente da resposta de convergência (RC). À medida que aumenta a adaptação vergencial, a necessidade de disparidade e vergência acomodativa diminui. Isto é ajustado pelo circuito de feedback. Uma vez que a postura tónica dos olhos é ligeiramente esofórica, são necessárias uma quantidade pequena de disparidade vergencial negativa e acomodação reflexa negativa para fixar um objecto que está longe.

## MAIS SOBRE DISPARIDADE VERGENCIAL

Lembre-se que a **disparidade vergencial** (também chamada convergência fusional) é considerada o primeiro mecanismo usado para *afinar* a fixação no objecto de interesse. Todas as outras vergências ajudam com um alinhamento menos preciso dos olhos mas, a precisão da fusão motora é fornecida pela disparidade vergencial.

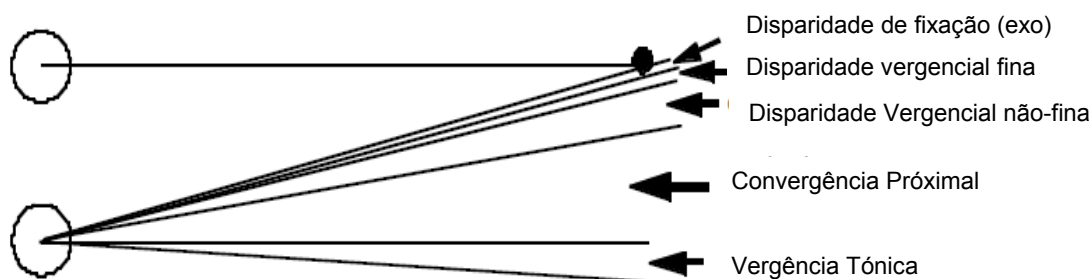
A disparidade vergencial é composta por dois sub-componentes:

- Disparidade vergencial positiva (disparidade de convergência)
- Disparidade negative vergencial (disparidade de divergência)

*Grupos celulares individuais do tronco encefálico designados células de convergência e células de divergência enervam a disparidade vergencial negativa e positiva, respectivamente. O número de células de divergência é significativamente menor do que as células de convergência, as quais podem explicar a menor amplitude e velocidade dos movimentos de divergência. Para além disso, ambos os movimentos de convergência e divergência apresentam comportamentos que sugerem a divisão em componentes análogos à fusão sensorial fina e não fina. (McMormack, p. 165)*

Para além disso, existem subsistemas vergenciais de disparidade fina e não-fina. A **disparidade vergencial não-fina** responde a alvos grandes e disparidades retinianas elevadas. Os ajustes finos são então assumidos pelo mecanismo de **disparidade vergencial fina**. O sistema de feedback negativo, ilustrado no diagrama, é o que permite que a disparidade vergencial fina fixe os olhos e complete a fusão motora. Contudo, não o executa de forma perfeita. Aquando do término da disparidade vergencial fina, continua a existir um pequeno desalinhamento residual do eixo visual. Ou seja, há ainda uma pequena disparidade residual que continua a estimular o mecanismo de disparidade vergencial fina. Isto é conhecido como sendo uma **disparidade de fixação** (Figura 18.1).

A disparidade de fixação é normalmente tão pequena que a imagem pode ainda ser fundida binocularmente. Lembre-se que a disparidade vergencial não é apenas responsável pela fusão motora. Tem ajuda de outros mecanismos de vergência (tónica, proximal, acomodativa).



**Figura 18.1** Componentes vergenciais aquando da alteração da fixação de perto para longe.

A quantidade de disparidade de fixação é determinada pela demanda da disparidade vergencial (quão próximo está o objecto) e o **ganho** de sinal neurológico. O ganho descreve como é a resposta do sistema de disparidade vergencial fina quanto à disparidade retiniana. A relação entre a disparidade de fixação, demanda da disparidade vergencial (DDV) e o ganho (G) é apresentada na seguinte equação (de McCormack, p. 166).

$$FD = DVD \times \left[ 1 - \left( \frac{G}{1 + G} \right) \right] \quad \dots \text{Equação 18.1}$$

Os valores normais de ganho são próximos de 100 mas, com um ganho superior, a disparidade da fixação é menor para uma dada distância. Para um ganho específico, a disparidade da fixação irá aumentar para distâncias de fixação mais próximas.

Como ilustração simples, considere uma pessoa cuja vergência tónica torna o eixo visual paralelo, esta pessoa diz-se ser ortofórica ao longe. Se tiver uma DP de 64mm, a demanda de convergência para fixar a 40 cm é de 15

dioptrias prismáticas. Se convergência proximal e convergência acomodativa juntas forem de 10 dioptrias prismáticas de vergência, a disparidade vergencial restante é de 5 dioptrias prismáticas. A Tabela 18.1 mostra como a disparidade da fixação varia com diferentes valores de ganho, de acordo com a equação 18.1. Posteriormente iremos estudar a disparidade da fixação em maior detalhe.

**Table 18.1** A disparidade de fixação para diferentes quantidades de ganho, quando a demanda da vergência da disparidade é de 5 dioptrias prismáticas. Todas as unidades são dioptrias prismáticas.

Demanda da Disparidade Vergencial (DDV)	Ganho (G)	Disparidade de Fixação (DF)
5	100	0.05
5	125	0.04
5	150	0.03

Note que a disparidade vergencial exige alguma disparidade para continuar a trabalhar.

P O que aconteceria se o mecanismo alinhasse na perfeição o eixo visual e o ponto de fixação?

R A demanda vergencial ficaria a zero e o estímulo para manter a vergência correcta perder-se-ia. Sem disparidade vergencial, os olhos voltam rapidamente para a sua posição de repouso. No entanto, a disparidade aumentaria, e os olhos teriam de oscilar para trás na direcção do ponto de fixação. Isto seria uma forma instável e ineficiente para manter a fusão motora. Saladin (Capítulo 21 de Borish, p. 748-749) explica como a disparidade da fixação ajuda a manter um alinhamento estável. [Referência alternativa: Schor and Cuiffreda: Vergence eye movements: basic and clinical aspects, 1983]

*[...] o mecanismo de controlo da disparidade vergencial direciona o padrão de enervação até se atingir o nível vergencial pretendido, com o controlador a atuar de forma a anular o seu próprio erro de sinal através do processo de feedback negativo. Tal como com o sistema acomodativo, esta situação nula pareceria apropriada se o nível vergencial estivesse numa posição de repouso; no entanto, mesmo atingindo este nível, o sistema ficaria instável porque não teria nenhum input. e flutuaria para trás e para a frente por entre uma disparidade de espaço vazio de alguns minutos de arco, dependendo da configuração de estímulo... ... é necessário um espaço vazio para manter o ruído natural (saída sem nenhum input externo) de estimulação constante do sistema. ... Em vez de ir para o ponto nulo (o centro do espaço vazio) o sistema vai para um lado do espaço vazio deixando assim um pequeno erro direccional que gera o sinal necessário para o controlo. ... A quantidade de disparidade que se deixa para fornecer o estado necessário de estabilidade ou para a manutenção da enervação é conhecida em termos clínicos por disparidade de fixação.*

## FUSÃO SENSORIAL & INTRODUÇÃO DO HORÓPTERO

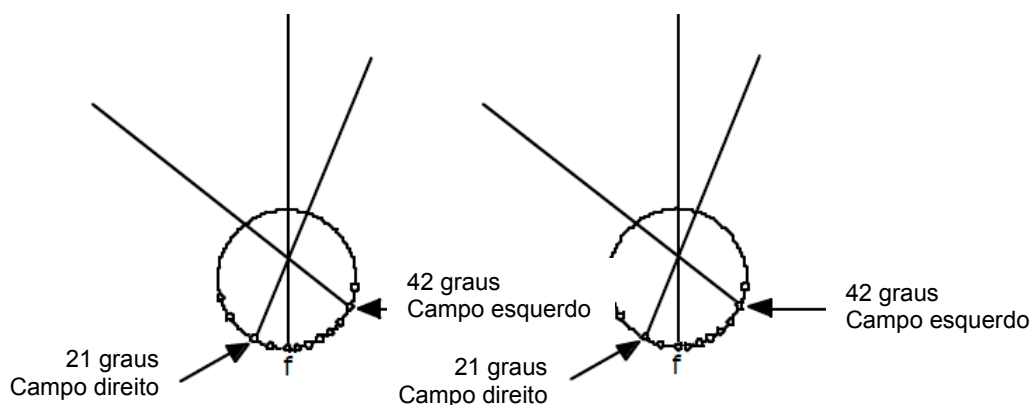
A fusão motora é um pré-requisito para a **fusão sensorial** o qual é o processo usado pelo sistema visual para combinar as imagens retinianas dos dois olhos numa percepção unificada. Focámos alguns conceitos básicos de fusão sensorial quando incidimos o estudo sobre a correspondência da direcção visual de ambos os olhos. A fusão motora direciona ambos olhos para o mesmo objecto; agora deve ter imagens semelhantes posicionadas em pontos correspondentes, nas duas retinas. Os primeiros cientistas da visão tentaram perceber como a fusão sensorial ocorre.

*“O padre Franciscus Aguilonius (1613) verificou que as imagens projetadas para os dois olhos eram ligeiramente diferentes devido à diferença existente entre o ângulo visual de cada olho. Usou este facto para desenvolver uma análise das posições espaciais sobre onde iriam cair pontos correspondentes nos dois olhos.”* (De Tyler, The Horopter and Binocular Fusion, in Binocular Vision, editado por Regan, 1991, p. 19) Partindo das leis de direcção visual, sabemos que objectos localizados em diferentes pontos, caem em diferentes localizações retinianas, e cada localização retiniana diferente tem uma direcção visual diferente associada. Por outras palavras, cada ponto retiniano tem a sua direcção visual oculocêntrica ou sinal local. Note que a partir das leis de direcção visual de Hering este, afirma existir uma linha visual correspondente no olho que tem a mesma direcção visual. Assim, todos os pontos da retina existentes nos olhos têm o **ponto de correspondência** na retina do outro olho, a qual tem a mesma direcção visual.

P A direcção visual está associada com um ponto correspondente ou a direcções visuais egocêntricas e oculocêntricas?

R A Figura 18.2 A ilustra o conceito da correspondência de direcções visuais e pontos correspondentes quando os olhos estão a fixar um objecto em infinito. A imagem do objecto a ser focado cai em ambas fóveas enquanto outro

ponto, localizado à esquerda da fixação, a  $42^\circ$  estimula um conjunto de pontos correspondentes – no lado nasal da retina esquerda e lado temporal da retina da direita. Do mesmo modo, um simples ponto no espaço, localizado  $21^\circ$  à direita da fixação, estimula outro conjunto de pontos correspondentes. Por cada par de pontos correspondentes, pode colocar, no espaço, um ponto que os estimule.

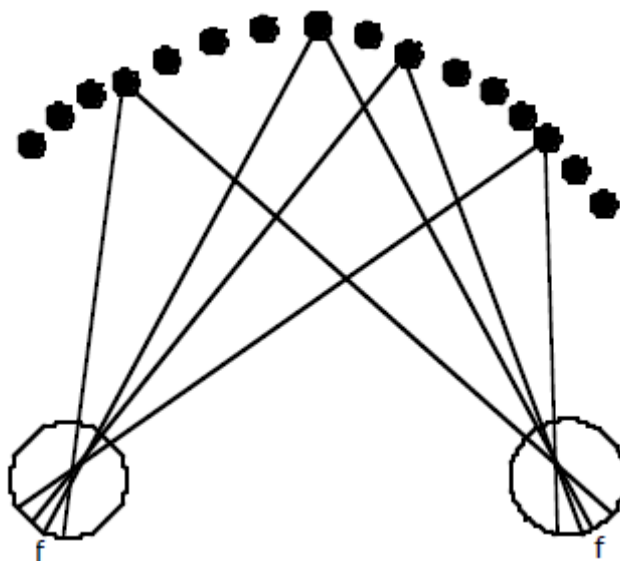


**Figura 18.2** Pontos correspondentes têm a mesma direcção visual oculocêntrica.

Pode localizar, no espaço, os pontos que estimulam certos pontos correspondentes basta encontrar a intersecção de linhas visuais correspondentes. Isto mais fácil de visualizar e medir quando os olhos estão a focar um objecto próximo. Se ligar um número considerável de linhas visuais correspondentes a partir das duas retinas, formará um arco semelhante ao da Figura 18.3. Este arco de pontos é conhecido por **horóptero**. O termo foi desenvolvido por Aguilonius e significa “horizonte de visão”.

## CARACTERÍSTICAS DO HORÓPTERO TEÓRICO

Sendo por definição, um objecto localizado no horóptero tem a mesma direcção visual em cada olho, a imagem cai sobre pontos retinianos correspondentes. Pontos retinianos correspondentes têm disparidade zero uma vez que têm a mesma direcção visual oculocêntrica.



**Figura 18.3** O horóptero ou “horizonte visual”.

Uma definição de horóptero será a localização especial de pontos que produzem **disparidade retiniana zero**. Uma vez que a disparidade aparece devido ao deslocamento horizontal dos dois olhos, o horóptero forma um arco no plano horizontal.

Aquilonius afirmou que o horóptero cai sobre um círculo que inclui o *ponto de fixação* e os *pontos nodais* dos dois olhos. (fig. 18.3). Quando os olhos estão a fixar um objecto ao longe, o círculo é grande; quando estão a fixar um objecto ao perto, o círculo é mais pequeno. Cada distância de fixação tem um horóptero associado a si. A forma do horóptero foi estudado por Vieth em 1818 e Muller em 1840, e o círculo teórico com a geometria supracitada é conhecida por **horóptero de Vieth-Müller**, ou **círculo de Vieth-Müller**.

Na teoria, para uma fixação simétrica na linha mediana, o horóptero apenas existe no plano horizontal e numa linha vertical que passa pelo ponto de fixação. Todos os outros pontos espaciais irão estimular localizações retinianas com disparidade. Com fixação assimétrica, o horóptero fica torcido descrevendo uma curva complexa (**Tyler Fig. 2.5, 6**, no capítulo Christopher Tyler, *The Horopter and Binocular Fusion*, in *Binocular Vision*, editado por Regan, 1991). Os horópteros apresentados nas figuras de Tyler indicam pontos de disparidade zero num espaço tridimensional e são conhecidos por **pontos de horóptero**.

O nosso objectivo é compreender os princípios básicos da fusão binocular e, para esta finalidade, é suficiente limitar as considerações do horóptero ao plano horizontal. O horóptero horizontal é geralmente medido pelo alinhamento de colunas verticais, tais como as do equipamento de **Howard Dolman**.

Uma vez que são utilizadas colunas verticais para medir o horóptero, o horóptero horizontal é por vezes também conhecido por **horóptero longitudinal** (**Ver Steinman Fig. 4-3 ou Fig. 24-4 em Adler's Physiology of the Eye**, nona edição, 1992, p. 776).

## BIBLIOGRAFIA

- Benjamin, W. **Borish's Clinical Refraction**. WB Saunders, Philadelphia. 2006. Chapter 5, pp 135-146.
- Steinman et al. **Foundations of Binocular Vision**. McGraw-Hill, New York, 2000. Chapter 4, pp 81-83.
- Tyler CW. **The horopter and binocular fusion**. In Regan D, *Binocular Vision*. London: Macmillan; 1991
- McCormack GL. In **Borish's Clinical Refraction WB Saunders**, Philadelphia. (1998),
- 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.
- Goss DA. **Ocular accommodation, convergence, and fixation disparity: A manual of clinical analysis**. Butterworth-Heinemann, Michigan. 1995.
- 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.
- Hart W. **Adler's Physiology of the Eye, 9th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1992.
- Kaufmann, PL. **Adler's Physiology of the Eye, 10th Ed**. Mosby, St. Louis, 2003.
- Kandel. **Essentials of Neural Science and Behavior**, Appleton & Lange, 1995.
- Moses, RA. **Adler's Physiology of the Eye, 8th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1987.
- Reading RW. **Binocular Vision**. Butterworth Publishers, Woburn, MA, 1983.
- Schwartz S. **Visual Perception - 2nd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, CT, 1999.