



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Ciências da Saúde

O Fenómeno de Crowding e as suas Implicações na Ambliopia

Nataliya Yanchyk

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Optometria em Ciências da Visão
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof^a. Doutora Amélia Maria Monteiro Fernandes Nunes

Covilhã, Outubro de 2012

Dedicatória

Aos meus pais.

Agradecimentos

Passados vários anos, percorridos muitos quilómetros e revirados milhares de páginas, resta-me apenas agradecer do fundo do meu coração:

- A todos os “não” que ouvi e a todos os “sim” que não esperei ouvir;
- A todas as dúvidas e incertezas, a todos os receios e obstáculos;
- A cidade da Covilhã que me acolheu com bondade durante 4 anos. E a cidade de Lisboa que fez os meus sonhos voarem mais altos;
- A Universidade da Beira Interior e ao Corpo Docente por me terem dado as ferramentas e as bases sólidas para ser aquilo que sou hoje - uma optometrista com orgulho da profissão;
- A todos os amigos e colegas que de forma direta e indireta sempre me ajudaram e desafiaram para dar o meu melhor;
- A minha família por ser um apoio incondicional, pelos valores e princípios que me ensinaram;
- Ao meu namorado que nunca me deixou baixar os braços e ajudou-me manter o equilíbrio entre as vidas pessoal, profissional e académica.

Em suma, a toda essa experiência inesquecível.

Prefacio

Two are a company, three are a crowd
(English Proverb)

“You can’t always get what you want,
But if you try sometimes, you might find
You get what you need!”
(The Rolling Stones, *You Can’t Always Get What You Want*)

Resumo

Fenómeno de Crowding refere-se ao facto da acuidade visual para Optótipos cercados por barras ou outros optótipos, ser pior do que a acuidade visual para os optótipos isolados. Sabe-se que o fenómeno de crowding é mais pronunciado em pessoas com baixa visão, por exemplo amblíopes, do que em pessoas com a visão normal.

O objetivo do presente trabalho é perceber os mecanismos subjacentes ao fenómeno de crowding, tanto físicos como óticos ou neurológicos, bem como a sua influência na visão dos amblíopes.

A principal conclusão é que esse fenómeno é muito específico para visão periférica e é fortemente dependente do arranjo do alvo. Também parece ter maior influência em sujeitos com ambliopia estrábica do que em sujeitos com ambliopia anisométrica, devido à falta de binocularidade.

Palavras-chave

Crowding; supressão dos contornos; masking; mecanismos neurológicos; interação dos contornos; fisiologia do estímulo; ambliopia.

Abstract

The crowding effect refers to the phenomenon that visual acuity for a letter surrounded by bars or by other letters can be impaired relative to the acuity for the single letter. It's known that the crowding phenomenon is more pronounced in people with low vision, such as amblyopes, than those with normal vision.

The aim of the current work was to understand the mechanisms that underlay the crowding effect, either physical, optical or neurological, and its influence in amblyopic vision.

The main conclusion is that this phenomenon is very specific to peripheral vision and strongly dependent on target arrangement. Also it seems to be more influent in subjects with strabismic amblyopia rather than in subjects with anisometropic amblyopia due to the lack of binocularity.

Keywords

Crowding; suppression; masking; contour interaction; neural mechanism; stimulus physiology; amblyopia.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
2.	Metodologia	3
3.	Fenomeno de Crowding	5
3.1.	Introdução	5
3.2.	Teorias acerca do Crowding	7
3.3.	Locus Cortical do Crowding	13
3.4.	Diferenciação do Fenómeno de Crowding dos outros Fenómenos da Natureza Psicofísica	15
3.5.	Crowding Foveal e Crowding Periférico	18
3.6.	Características de Estímulo Visual e Crowding	19
3.6.1.	Arranjo de Alvo e Crowding	20
3.6.2.	Crowding e Atenção. Que ligação?	25
3.7.	Desenvolvimento Visual e Crowding	27
3.8.	Tarefas de Leitura e Crowding	29
4.	Ambliopia	33
4.1.	Generalidades	34
4.1.1.	Tipologia da Ambliopia	34
4.1.2.	Processamento Visual em Ambliopia	34
4.2.	Padrão das Disfunções Visuais na Ambliopia	38
4.3.	Fenómeno de Crowding em Pacientes com Ambliopia	42
5.	Conclusão	49
5.1.	Conclusões Principais	49
5.2.	Investigações Futuras	50
	Referências	51

Lista de Figuras

- Figura 1.- Aglomeração dos Alvos de Crowding
- Figura 2.-Células Ganglionares
- Figura 3.-Conexões Horizontais de Longo Alcance
- Figura 4.- Hipercolumnas de Percepção
- Figura 5.-Córtex Visual
- Figura 6.- Alvos de Supressão dos Contornos
- Figura 7.- Exemplos de Mascaramento do Alvos
- Figura 8. - Arranjo Ortogonal vs. Arranjo Colinear
- Figura 9. - Anisotropia do tipo Dentro-Fora
- Figura 10. - Arranjo Linear vs. Ortogonal
- Figura 11.-Variação de Contaste em Fase
- Figura 12.-Alvos não-alfanuméricos
- Figura 13.-Gráfico da Distribuição da Ambliopia
- Figura 14.- Alvos de C de Landolt

Lista de Tabelas

Tabela 1.-Principais Estudos sobre Crowding em Ambliopia e as Respetivas Conclusões.

Capítulo 1

Introdução

“It is as if there is a pressure on both sides of the word that tends to compress it. Then the stronger, i.e. the more salient or dominant letters, are preserved and they ‘squash’ the weaker, i.e. the less salient letters, between them”.

Korte W. (1923) Über die Gestalt auffassung imindirekten Sehen. (Translation by Uta Wolfe) (1)

Como é que nós percebemos o mundo que nos rodeia? Como é que nós percebemos onde estão os objetos em relação uns aos outros? Porque é que há objetos mais salientes e importantes na nossa cena visual? Como é que o cérebro seleciona a informação visual? Essas são as questões que inquietam os cientistas na área de psicofísica visual.

Ao longo das últimas décadas para compreender melhor a percepção visual os cientistas têm recorrido a estudos sobre o fenómeno de crowding. Este é fruto de naturezas física, psicofísica e neurológica e traduz-se pela influência negativa dos contornos, no reconhecimento das letras/objetos. Assim, introduzindo o fenómeno de crowding em testes visuais simples, tais como a medida de Acuidade Visual, consegue-se obter o resultado de desempenho visual a vários níveis. O fenómeno é comum a todas as pessoas, mas em especial em sujeitos ambliopes, disléxicos e com a degeneração macular.-1

De facto, os ambliopes têm sido o alvo principal no estudo de fenómeno de crowding. O objetivo principal desta pesquisa será perceber os mecanismos de fenómeno de crowding em indivíduos com visão normal e em ambliopes.

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, segue-se uma breve descrição de cada um:

Capítulo 1 - *Introdução* - contém a informação sobre os objetivos da revisão bibliográfica, assim como o breve resumo inicial sobre o atual “estado de arte” acerca do fenómeno de crowding.

Capítulo 2 - *Metodologia* - descreve como foi efetuada a pesquisa bibliográfica em termos de tempo, idioma, recursos e etc.

Capítulo 3 - *Crowding* - debruça-se sobre a exploração pormenorizada acerca de fenómeno de crowding, i.e., descreve as suas principais características, razões de aparecimento, influência sobre as variadas tarefas visuais e possíveis mecanismos da sua atenuação.

Capítulo 4 - *Ambliopia* - apresenta as linhas gerais das características da ambliopia, bem como a prevalência desse distúrbio visual explicando como se evidencia o fenómeno de crowding em sujeitos que sofrem do problema.

Capítulo 5 - Conclusão - demonstra as conclusões principais da pesquisa assim como aponta ideias para futuras pesquisas/estudos práticos sobre o assunto.

1.1. Objetivos

Os objetivos principais desta dissertação são:

- Perceber os mecanismos principais de fenómeno de crowding, as alterações por ele provocadas e a sua relação com os outros fenómenos psicofísicos da visão;
- Traçar as linhas gerais do padrão de vários distúrbios visuais na ambliopia;
- Relacionar o fenómeno de crowding com a ambliopia e estabelecer qual o tipo de ambliopia que é o mais afetado.

Capítulo 2

Metodologia

Na elaboração desta revisão da literatura efetuou-se uma pesquisa bibliográfica nas seguintes bases de dados:

- Medline (www.pubmed.com),
- B-On (www.b-on.pt),
- Science Direct (www.sciencedirect.com),

Também foram pesquisadas as seguintes revistas on-line:

- Journal of Vision (www.journalofvision.com),
- Optometry and Vision Science
(www.journals.lww.com/optivisci/pages.default.aspx)
- ARVO (www.arvo.org).

A pesquisa foi feita com associação da palavra “crowding” com as palavras “amblyopia”, “masking”, “contour interaction”, “surround suppression”, “neural mechanism”, “stimulus physiology”.

Aquando a pesquisa, não houve restrições de data ou idioma, sendo esta efetuada em inglês, português, alemão e russo.

No total foram consultadas 110 fontes

Capítulo 3

Fenómeno de Crowding

3.1. Introdução

O fenómeno de Crowding foi descoberto no início do século passado, durante a medição da Acuidade Visual, em amblíopes e pacientes com a perda de campo visual central.-1,2

Em 1963, num estudo “clássico” de Flom, Heath e Takahashi descreve-se que crowding ocorre quando o alvo e os distratores são apresentados a ambos os olhos, sugerindo a existência de um locus cortical para execução destas tarefas.-3

Em 1970, Bouma descobre que a severidade do fenómeno de crowding é parcialmente proporcional á excentricidade do alvo, e que este fenómeno ocorre em várias tarefas visuais.-4

Em 1985 Levi, Klein e Aitsebaomo mediram os efeitos da aglomeração da acuidade de Vernier na visão central e periférica, em olhos normais e amblíopes. Eles descobriram que em ambos os casos, a severidade da interferência espacial produzida pelos distratores circundantes é proporcional ao limiar de acuidade Vernier sem distratores.-5

Em 1996, He, Cavanagh e Intriligator concluem que a discriminação do alvo aglomerado pelos distratores é dependente de um “filtro” de atenção.-6

Com a chegada do novo milénio, começou a dar-se uma maior importância ao estudo do fenómeno de crowding na visão infantil e na leitura. Jeon e colegas, em 2010, chegaram a conclusão que a acuidade visual para os alvos de crowding mantém-se imatura até aos 11 anos de idade.-7 Já em 2007, outros autores levaram ao cabo uma experiência de aprendizagem específica para os alvos de crowding, obtendo sucesso, pois conseguiram eliminar uma grande parte de influência negativa do crowding na leitura.-8

O fenómeno de crowding traduz-se pelo amontoamento/colapso dos distratores sobre o alvo principal, resultando assim no irreconhecimento do mesmo. Crowding ocorre sobre uma

vasta gama de condições e tarefas visuais, tais como: acuidade de Vernier, estereoacuidade, discriminação da orientação, discriminação de contraste, reconhecimento de letras e faces.



Figura 1 -Aglomeração dos Alvos de Crowding(9)

Na medição da Acuidade Visual, o crowding resulta na dificuldade ou incapacidade de discriminar o optotipo, quando este é apresentado em conjunto com outros. As letras das extremidades podem ser lidas, contudo as letras centrais estão de tal forma aglomeradas que geram confusão, como se pode observar na figura 1. O fenómeno manifesta-se quando o olho usa uma região parafoveal para fixar o alvo. A redução da acuidade visual aumenta à medida que também aumenta a excentricidade de fixação.

3.2 Teorias Acerca de Crowding

- *Aspetos físicos de estímulo*

Segundo o estudo de Hess, o crowding em visão foveal pode ser explicado somente em termos de física de estímulo, sugerindo que o estímulo obriga o sistema visual usar escala espacial. É de notar que também ocorre redução de contraste para estímulos aglomerados pelos outros em comparação com os estímulos isolados ou estímulos cujos aglomerados têm polarização oposta. -10

O crowding foveal também pode ser explicado com base na função de dispersão pontual do sistema visual quando as letras são pequenas e estão muito juntas umas das outras. -11,12

Ou seja, a explicação ótica sugere que crowding ocorre apenas para alvos pequenos no limite de acuidade visual e não para estímulos grandes e desfocados. Num estudo recente, Chung e Tjan mediram a frequência espacial para letras filtradas para diferentes tamanhos e separações entre os distratores. Os resultados destes estudos propõem que o sistema visual humano troca a sua sensibilidade para os canais de alta frequência espacial quando identifica as letras na presença de letras-vizinhas.-13 Porém, troca não se verifica em crowding periférico.-14

- *Teoria de campos recetivos amplos*

Uma das explicações neuronais sobre o fenómeno de crowding diz que este ocorre quando o alvo e o distrator se sobrepõem dentro da mesma unidade neuronal, i.e. caem ambos dentro do mesmo campo recetivo. O neurónio com campo recetivo/percetivo tem a região central excitatória e a região periférica inibitória. (neurónio de tipo ON-OFF, figura 2). O alvo para ser resolvido tem de cair dentro da região excitatória. Os distratores dentro da região excitatória impedem a identificação do alvo. Ao aumentarmos o tamanho do alvo, seria necessária a intervenção dum neurónio com campo recetivo/percetivo maior. O incremento do tamanho de alvo deve incrementar a extensão de interação proporcionalmente. -16

O estudo clássico de Flom de 1963 sugere que a distância sobre a qual ocorre a interação espacial esteja relacionada com o tamanho de campos recetivos mais sensíveis ao alvo.-3 Como a visão periférica é caracterizada pela acuidade visual reduzida, vai envolver os campos recetivos amplos e esta “mudança de escala” irá resultar em extensões de crowding cada vez maiores. Esse aumento de escala traduz-se em duas preposições: a primeira prevê que em visão periférica a extensão de crowding seja proporcional a acuidade visual sem crowding (o que se comprova para acuidade de Vernier);na segunda, a extensão espacial de

crowding vai depender do tamanho ou da frequência espacial do alvo. Levi e colegas em 2002 demonstraram que a extensão de crowding na fóvea depende realmente do tamanho do alvo, mas na periferia o crowding pode ser consequência do grande tamanho de alvos utilizados para teste. De acordo com a teoria de mudança de escala se testarmos crowding foveal e periférico com alvos do mesmo tamanho os resultados serão semelhantes, mas tal como foi mencionado em cima essa suposição é falsa. -17

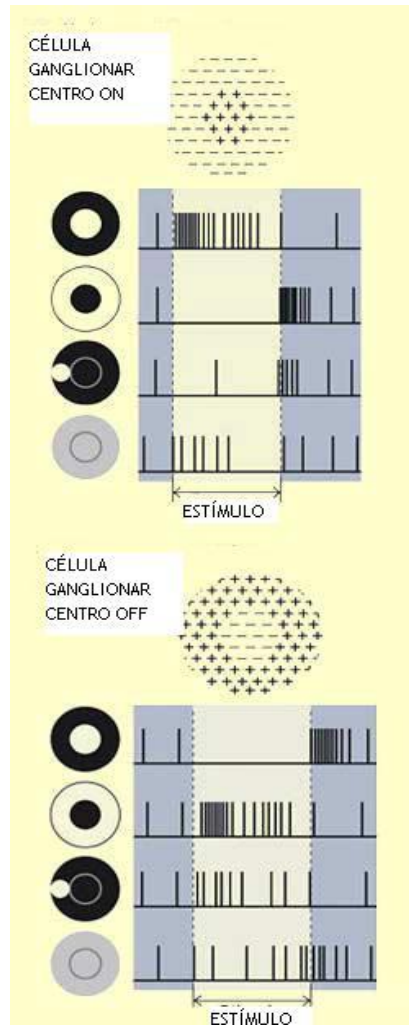


Figura 2 Células Ganglionares -15

-Hipercolunas de Percepção

A extensão de crowding corresponde a um espaçamento fixo no córtex e ocorre quando os distratores competem pelo espaço dentro da hipercoluna de percepção ocupada pelo alvo (Figura 3). A questão que se levanta é porque a extensão do crowding depende da semelhança entre alvo e os distratores? Uma das possíveis respostas é que os distratores dissimilares podem operar sobre a mesma extensão, mas têm um efeito significativamente menor. -19

Tripathy e companheiros durante o seu estudo experimental em 2002 esperavam que o tamanho dos alvos não tivesse qualquer efeito sobre a extensão das interações para os alvos com um tamanho inferior a 1° , mas um incremento linear para os alvos de maior tamanho. O efeito do tamanho do alvo foi muito ligeiro em comparação com a influência da similaridade o que os levou a pôr de parte as hipóteses sobre as hipercolunas de percepção. -20

- Conexões horizontais de longo alcance

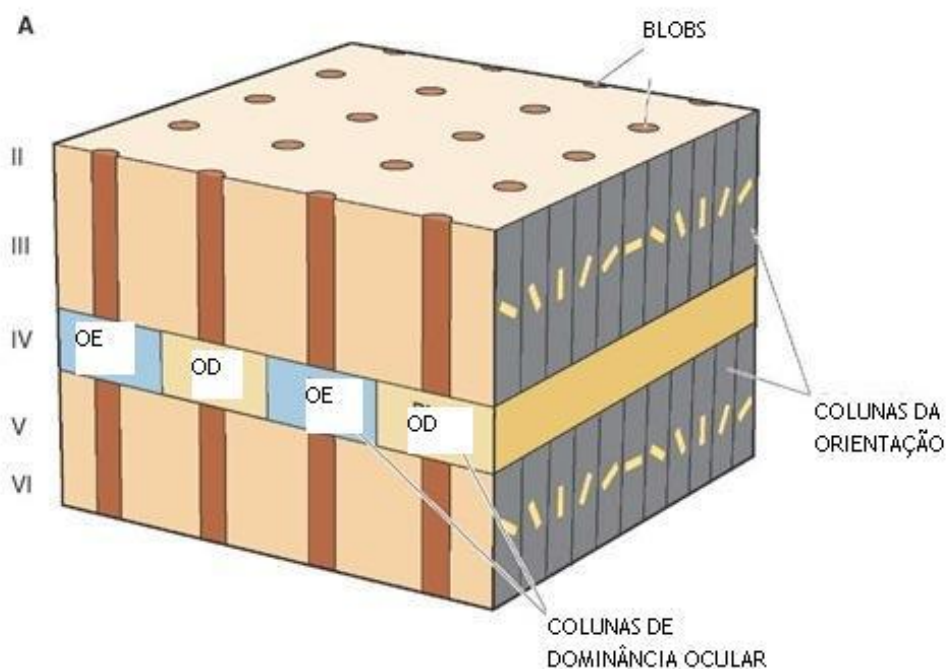


Figura 3- colunas de dominância ocular. -18

As conexões horizontais de longo alcance conectam os neurónios com propriedades semelhantes, por exemplo similares em frequência espacial ou preferência de cor. (Figura 4) Já que o crowding é maior quando o alvo e os distratores têm características similares, é plausível que crowding seja mediado por estas conexões horizontais de longo alcance no córtex visual primário. Deste ponto de vista, a extensão cortical das conexões horizontais quando projetada para campo visual determina a extensão da interação; a área de interação

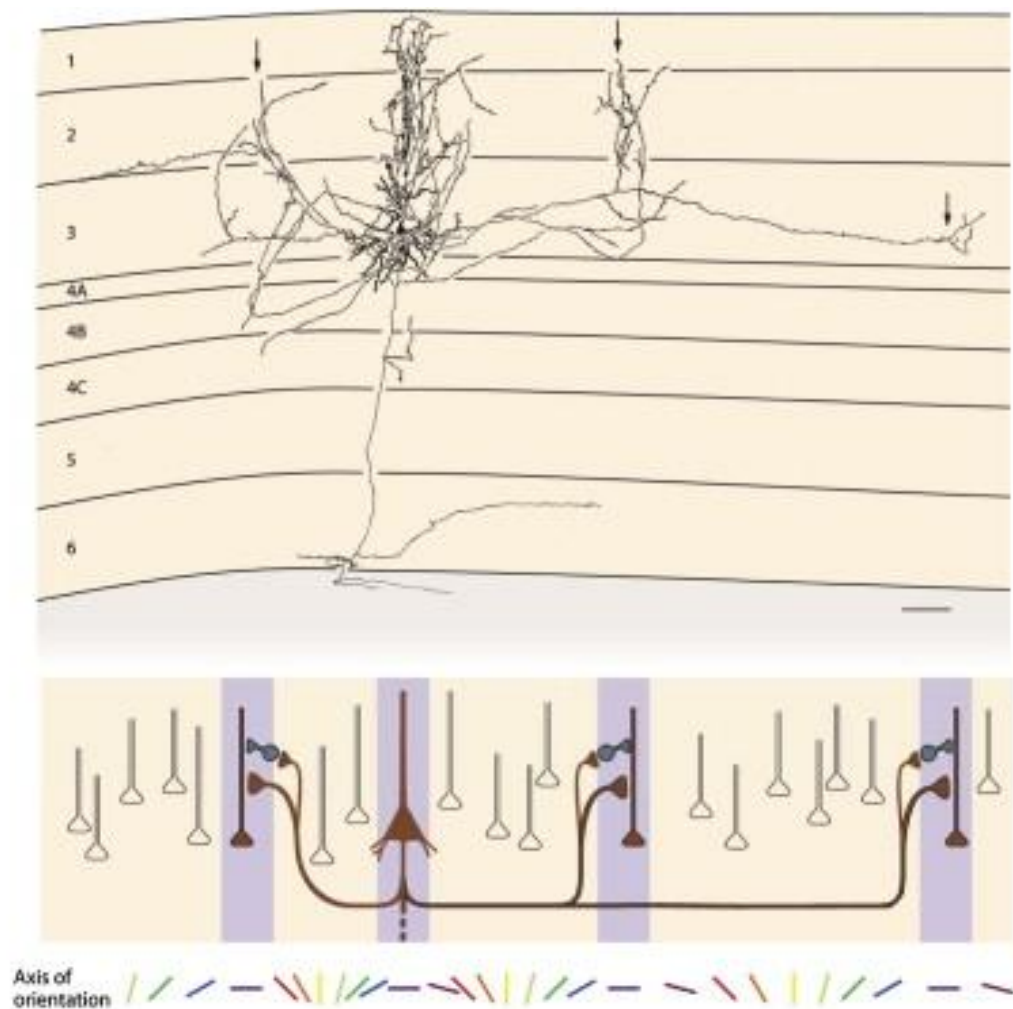


Figura 4 -Conexões horizontais de longo alcance.-21

deve incluir a área coberta pelo alvo em si e todas as outras regiões dentro duma distância fixa (determinada através das conexões horizontais) de limite externo do alvo. Assim que o tamanho do alvo aumenta, a extensão espacial das interações também deve aumentar. -3, 22

Uma preposição relacionada envolve o facto de magnificação cortical - desde que a ordem de interações é dada pela distância fixa a cada um dos pontos de alvo, a extensão da interação corresponde diretamente ao tamanho do alvo.

- Suposições computacionais

Esta hipótese tem por base a estratégia de combinação de informação através dos campos recetivos.

Segundo Parkes, crowding é a consequência de junção compulsiva de sinais locais de orientação, que leva ao deterioro de informação contida num sinal de orientação isolado. Se a informação é extrapolada sobre a mesma região espacial, então extensão da interação deve ser independente do tamanho do alvo. Mas por outro lado, se os alvos mais amplos provocam a interação sobre as áreas maiores, a extensão da interação deve aumentar com o tamanho do alvo. -23

Uma tarefa crítica para o sistema visual é fundir os caracteres numa percepção única; mas essa tarefa pode falhar devido ao resultado da experiência de acoplamentos ilusórios ou caracteres fisiologicamente disjuntos. Será que o crowding também é uma falha na junção de caracteres? Pelli sugere que combinações ilusórias e crowding podem ser ambos sintomas de excessiva integração de caracteres. Então o que limita a integração de caracteres? Numa fóvea normal os caracteres individuais podem ser resolvidos, assim como as suas combinações. Em contrapartida, na periferia, a resolução de combinações é mais grosseira do que a resolução dum carácter individual. -24

Numerosos estudos apontam para a perda de informação sobre a localização como causa de crowding, pois tanto o sistema visual periférico normal como a fóvea dos ambliópes são conhecidos por terem um elevado grau de incerteza posicional. Porém Tjan e Nandy observaram que o crowding não tem nenhum efeito sistemático sobre a incerteza espacial intrínseca à periferia. A “confusão de origens” é a maior causa de crowding, mas uma vez, mais pronunciada em visão periférica. Ou seja, a incerteza da localização não explica o crowding foveal. -25

-Suposições atencionais

O crowding ocorre quando o observador sabe exatamente quando e onde vai ver o alvo, daí parecer absurdo que o crowding possa ser explicado como défice de desenvolvimento atencional.

Quando vários caracteres são apresentados em conjunto, a percepção de detalhes espaciais do carácter isolado depende do habilidade de sistema visual para resolver cada carácter e da habilidade de mecanismos subsequentes para isolar cada carácter. -26

Uma das evidências recentemente encontradas que suportam a explicação atencional é que o crowding é específico para uma dada região de atenção e não ocorre fora dela. -27 Crowding é evidente quando atenção está direcionada para uma localização fixa, mas é muito diminuído quando é guiado pela atenção. Ou seja, o crowding é específico para um arranjo de distratores dentro do foco atencional e não é determinado pelo arranjo de distratores em coordenadas retinotópicas. Como explicação alternativa temos que talvez a força do crowding dependa se o alvo e os distratores são ambos vistos num sistema de coordenadas ou em dois sistemas: o do alvo em movimento e o de distratores fixos. Desde que os estímulos retinianos

sejam idênticos em ambos os casos, esse resultado sugere um papel de via descendente. -
27,28

3.3. Locus Cortical de Crowding

O córtex estriado (Figura 5) combina e analisa a informação visual vinda do núcleo geniculado lateral e transmite a informação para as áreas de associação visual superior (córtex extra estriado), que produzem a interpretação posterior. As áreas corticais 17,18 e 19 Brodman são as áreas visuais (designadas V1,V2,V3,V4 e V5) e estão associadas ao processamento visual. -30

Os neurónios da área V1 são importantes na análise de caracteres visuais, especialmente de detalhes finos. Estes neurónios têm campos recetivos pequenos, sensíveis à orientação do

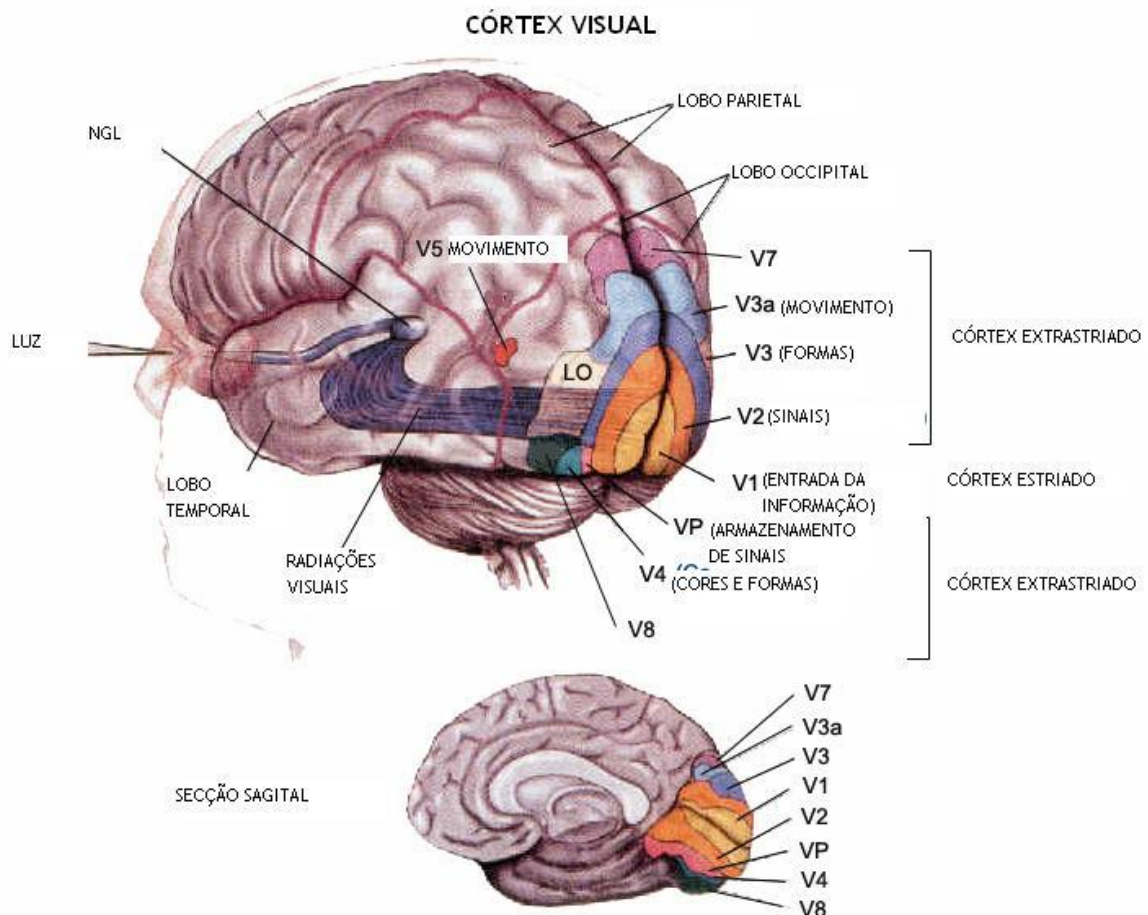


Figura 5 - Córtex Visual -29

estímulo, à cor, ao movimento e à disparidade binocular (ou seja grau de alinhamento entre os dois olhos).-31 Essa área foi apontada como possível locus de crowding pelo Flom em 1963 e a argumentação dada foi que o crowding ocorre dentro ou perto da área de combinação binocular.-3 Também Pelli aponta que o espaçamento crítico, que não depende da excentricidade, corresponde-se com o arranjo de interações da região V1.-19

No entanto, Arman e colegas chegaram a conclusão de que o crowding não era evidente em V1, já que o crowding ocorre ainda antes da separação de informação visual em feixes cromático e luminoso ou então ocorre em níveis mais altos, talvez subsequentes a seleção

atencional, onde os caracteres se juntam. As conexões horizontais nas camadas 2 e 3 de córtex visual primário ligam regiões de frequência espacial e preferência de cor semelhantes o que faz deles bons candidatos aos mediadores de fenómeno de crowding. -32

Todavia, um dos candidatos mais fortes tem sido a área V4, pois o crowding ocorre em sítios de combinação de caracteres.-33 Realmente, a área V4 é conhecida por ter neurónios que respondem às combinações complexas de caracteres (p. ex. às curvaturas de 2 linhas que se encontram num determinado ângulo). V4 aparenta ser locus de crowding pelas seguintes razões: o tamanho de campos recetivos e anisotropia são semelhantes em tamanho e orientação para com a anisotropia radial/tangencial de crowding. Também acontece que existe menos crowding entre alvo e distratores localizados verticalmente do que horizontalmente o que está de acordo com a posição de hemicampos recetivos da área V4. Mais uma característica que reforça o papel de V4 é o facto de diferenciar entre a posição fisiológica e a posição percebida de objeto em tarefas de discriminação visual. -33,34

Os neurónios da área V4 demonstram uma resposta supressiva para os distratores apresentados dentro dos seus campos recetivos. Porém a seleção de caracteres, assim como crowding, pode envolver o feedback das outras áreas corticais. Por isso área V4 pode potencialmente servir como *locus* para divisão inibitória que ocorre na segunda etapa. Ou em alternativa, pode ser o *locus* onde a resolução de atenção está limitada. Posto isto, parece haver um consenso acrescido de que crowding ocorre em duas etapas - deteção de caracteres, talvez em V1, e a integração de caracteres em locais acima de V1. A forte dependência de crowding da posição percebida de objeto é mais uma evidência do seu modelo bifásico. -35

3.4 Crowding e Outros Fenómenos de Natureza Psicofísica

Supressão e Contornos

O crowding e a supressão de contornos (Figura 6) são muito semelhantes o que sugere a existência de um mecanismo comum. Contudo, mesmo sendo o grau de similaridade bastante elevado há vários aspetos em que eles divergem:

- A supressão de contornos não depende da fase das redes de contraste, enquanto o crowding é fortemente dependente da polarização dos distratores;-37

- A supressão de contornos não tem por base a disparidade retiniana e crowding tem. -38

A experiência de Petrov evidencia mais uma diferença crucial. Ao apresentar as máscaras de vários tamanhos fez-se a comparação entre os dois fenómenos psicofísicos. A pequena máscara (padrão xadrez) provocou um grande crowding, mas não a supressão de contornos.-39

É característica para crowding uma anisotropia de tipo dentro-fora (relativamente a posição da máscara), enquanto a supressão de contornos é isotrópica tanto para pequenos como para grandes contornos. É a anisotropia que distingue claramente o crowding da supressão de contornos.-39

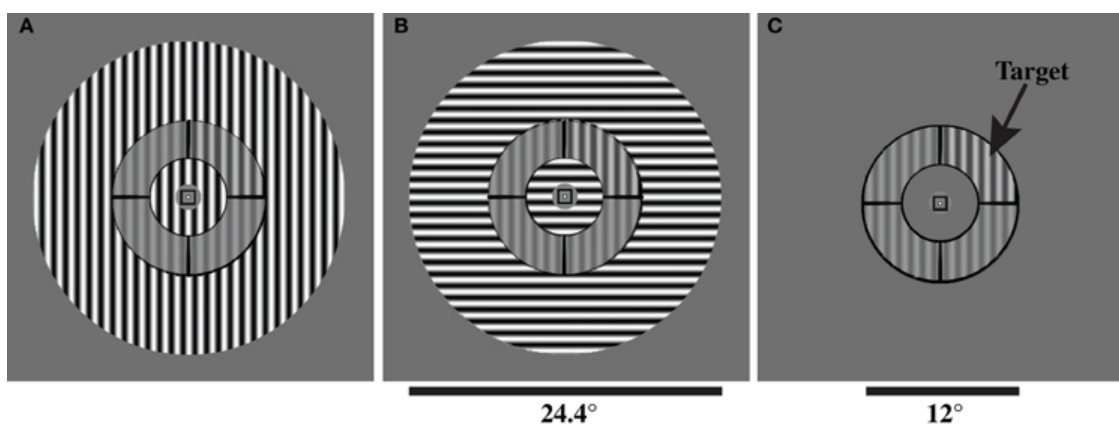


Figura 6 -Alvos de Supressão dos Contornos. -36

Masking

O termo “masking” descreve a possibilidade de um padrão (neste contexto, uma máscara) de impedir a deteção ou discriminação de um alvo. Ambos crowding e masking dificultam a discriminação visual, mas é pertinente identificar as diferenças entre eles.

Tanto na fóvea como na retina periférica, crowding e masking são específicos a orientação, porque ambos têm de ocorrer depois da informação vinda dos dois olhos. -3 Mas o aumento do limiar de deteção para distratores e alvos semelhantes é mais pronunciado para crowding do que para masking. -40

Masking Simples

Normalmente, masking refere-se a incapacidade de discriminar o sinal por causa de um padrão. Masking simples, masking por causa de ruído ou de uma série de redes, por norma é efetivo se e só se a máscara se sobrepõe ao sinal (Figura 7). Porém, em periferia normal ou em fóveas ambliópicas as letras-vizinhas sem se sobreporem dificultam a deteção de letra única. -41

Masking simples ocorre quando o sinal e a máscara estimulam o mesmo detetor de caracteres e o crowding ocorre quando sinal e máscara estimulam os detetores diferentes. Em masking simples, o sinal desaparece, então o observador não pode dizer nada acerca dele e falha na tarefa. Sob as condições de crowding, a identificação da letra ou da orientação da rede é dificultada, mas não há qualquer interferência com a deteção do alvo. Por isso o observador diz ver o alvo mas os caracteres estão todos misturados. -43

O crowding interfere com a integração dos caracteres, mas não com a sua deteção. As deteções múltiplas têm de estar integradas, e essa integração é suscetível ao crowding. Uma deteção única não exige integração, daí não haver qualquer crowding.

A seletividade de crowding é muito mais ampla do que a de masking simples. Masking simples revela seletividade fina de deteção dos caracteres (1ª etapa), enquanto crowding mostra larga seletividade de integração dos caracteres (2ª etapa). Em crowding, detetores de caracteres distintos são intermediários dos efeitos de máscara e sinal. -24,44

Não é de esperar que o incremento proporcional do tamanho dos estímulos e do espaçamento entre os caracteres e a excentricidade afetam o crowding ou o masking simples, por isso estas características não distinguem entre os dois fenómenos.

Na fóvea, o espaçamento crítico é proporcional a extensão de sinal, o que é consistente com masking simples. Na periferia, o espaçamento crítico é proporcional a excentricidade, o que está de acordo com crowding.

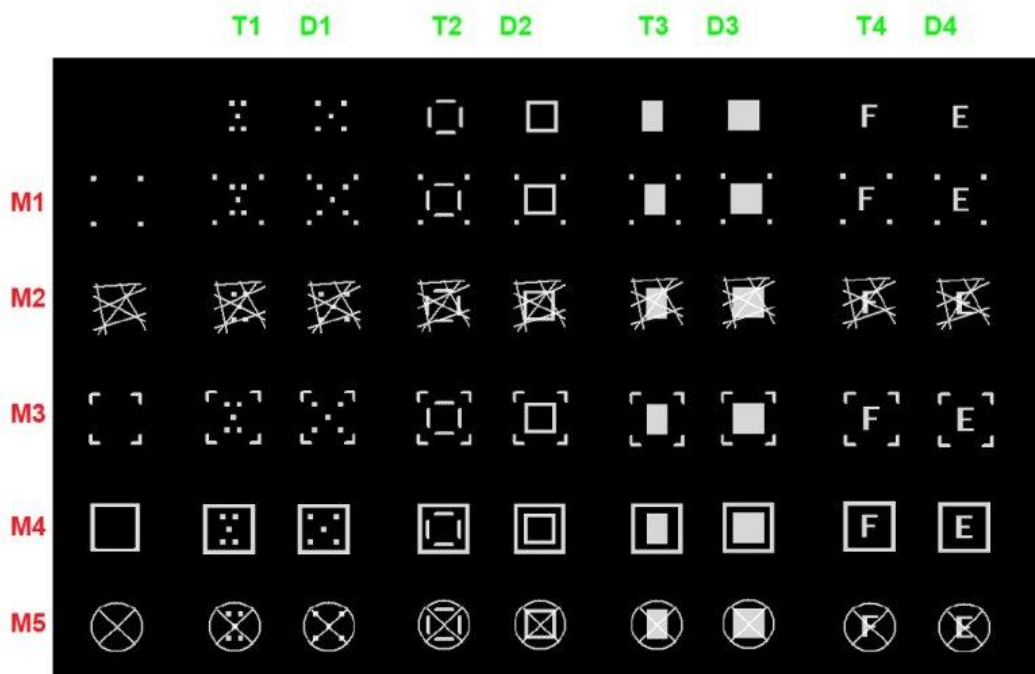


Figura 7- Exemplos de mascaramento do alvo.-42

Resumidamente, a maior diferença entre crowding e masking simples prende-se com o facto de masking simples bloquear tanto deteção como identificação - por isso o sinal desaparece, por sua vez, crowding afeta apenas a identificação - daí o sinal continuar visível, embora confuso pois está misturado com a máscara.

3.5. Crowding Foveal e Crowding Periférico

Após muitos estudos psicofísicos, quase não restam dúvidas de que crowding é um fenómeno principalmente da visão periférica, ou seja por norma não ocorre na fóvea e qualquer interação entre alvo-distrator ali pode ser entendida como simples masking.

Perto do limite de resolução na fóvea normal, a extensão de crowding é proporcional ao tamanho do estímulo e não é facilmente distinguível de masking simples.-14 O crowding foveal não varia com a escala e o espaçamento crítico e é proporcional ao tamanho do sinal. Se mantivermos o sinal e a mesma excentricidade (zero), tanto a força como a extensão de crowding foveal podem ser previstas diretamente através da força e extensão do masking.-40 Com os estímulos alfanuméricos crowding e masking podem ser confundidos na fóvea por causa do efeito de desfocagem, por isso aquilo que parece ser crowding na verdade pode ser um masking parcial (Levi, Hariharan 2002; Levi 2008). -40, 45

Para cada excentricidade existem dimensões de alvo para os quais crowding depende do tamanho do mesmo. Mas com o aumento da excentricidade essa dependência é cada vez menor. Posto isto, em visão periférica a extensão de crowding não varia com o tamanho do alvo, ou seja, o espaçamento crítico coincide com a excentricidade e se o estímulo completo é processado então a performance permanece igual. -46

O crowding em visão periférica não é isotrópico. A extensão de crowding também parece ser influenciada pelo campo visual. Um estudo recente mostra que em todos os quadrantes do campo visual crowding é mais pronunciado quando alvo e os distratores estão expostos na horizontal do que na vertical. Os distratores têm maior efeito na discriminação da orientação e o limite de resolução da atenção é mais grosseiro em campo visual superior do que em inferior. -47

O crowding na parafóvea é assimétrico. Um achado deverás interessante, porém contraintuitivo de Bouma diz que as letras periféricas têm mais pontuação quando o seu reconhecimento do que as letras mais centrais, tanto a direita como a esquerda do campo visual. -48 Essa assimetria foi replicada em estudos de reconhecimento de letra, por Motter e Simoni onde propuseram uma explicação em termos da geometria cortical: embora a separação angular para os distratores próximos e distantes seja igual, o mapeamento para o espaço cortical o distrator mais distante está mais perto do alvo do que o distrator mais próximo. -49

3.6. Características do Estímulo Visual e Crowding

De facto, combinar os caracteres provoca fenómeno crowding. Em termos psicofísicos, quando a tarefa é de identificar algo, os observadores agem de modo a considerar múltiplas posições possíveis, o que maximiza a aglomeração.

As células complexas e as células simples interagem através de inibição mútua. O conceito geral diz que somente os contornos visuais isolados presentes em visão periférica são processados pelas células simples que suprimem a fraca resposta das células complexas. Quando uma quantidade significativa de informação está presente numa área pequena, as células complexas são ativadas vigorosamente suprimindo a atividade das células simples dentro da sua área recetiva. A inibição ocorre em estados de baixa e de alta ordem. Estes estados podem alternar no tempo dentro do mesmo neurónio ou podem ser representados por diferentes sub arranjos de neurónios. A maior parte dos artigos científicos sugere que crowding ocorre quando vários objetos caem dentro da área de integração. A sobre- integração ocorre dentro dum ou mais mapas retinotópicos corticais, o que implica que o espaçamento entre alvo e distrator é o mais importante. A distância percebida, determina o crowding sugerindo que a sobre- integração ocorre em representação percetiva do espaço.-50

Em deteção do alvo, dos caratères sensoriais (como a forma externa) facilitam a performance comparativamente com os alvos definidos pela categoria. Por sua vez, em identificação, não se verifica esse efeito. Pressupondo que a identificação de estímulo é comprometida pelo crowding, e que este efeito é causado pela informação primária vinda dos distratores, conclui-se que esta contém a informação acerca da identidade do estímulo. As características físicas do estímulo não ajudam na identificação, o que sugere que não têm acesso a informação primária. Se o objetivo for detetar o estímulo, beneficiamos da informação acerca da forma ou da cor do estímulo. O resultado final é pior quando a informação primária do distrator e do estímulo focam em características diferentes. 50

Resumidamente, se o objetivo for detetar um alvo, a tarefa torna-se mais fácil se este for definido pela forma em vez de categoria. Enquanto na identificação beneficia mais da informação categórica do que da informação acerca da sua forma. Ou seja, o efeito de crowding não resulta só da apresentação da letra cercada pelos distratores mas também da tarefa do observador em identificar o alvo.-50

3.6.1. Arranjo de alvo e crowding

Os distratores afetam a percepção do alvo de várias maneiras. Por vezes, o objeto cercador é percebido e reportado em vez do alvo; noutras o alvo parece ter a localização certa, porém o observador reporta múltiplos caracteres. Estes erros de identificação não são aleatórios, mas influenciados pelas características do distrator.

O crowding ocorre quando existem distratores mais carregados do que o alvo dentro do campo de integração. Quando o destaque dos distratores é suprimido por distratores adicionais, o alvo passa a ser o único objeto proeminente dentro do campo da integração e o efeito de crowding desvanece. Strasburger propôs uma explicação para o papel da dominância (seja do alvo ou do distrator) - esta atrai o campo da atenção espacial, se o destaque for mais fraco, o reconhecimento não é impedido, dando-se numa localização errada. A similaridade e a dominância dão-nos a informação de “onde” o reconhecimento ocorre e não de “como” ocorre.-51

A dominância do alvo pode reduzir o crowding mesmo em alvos normais com poucos distratores - existe uma espécie de competição entre estímulos salientes e para reduzir o crowding o destaque de alvo tem de ser maior do que o dos distratores.

Com os alvos de carácter único, o crowding diminui drasticamente.-52 A quantidade dos distratores é determinada durante a fase de deteção do processamento visual. Este nível mais baixo tem um papel importante no fenómeno de crowding e integração de caracteres modificando o processamento visual. A janela espacial de integração de caracteres é o resultado da combinação de pelo menos a identificação e a deteção.-53

O arranjo colinear dos distratores em configurações circulares (completas ou incompletas) resulta em crowding fraco ou inexistente, ao passo que, arranjo não colinear resulta numa interferência consideravelmente maior. (figura 8)

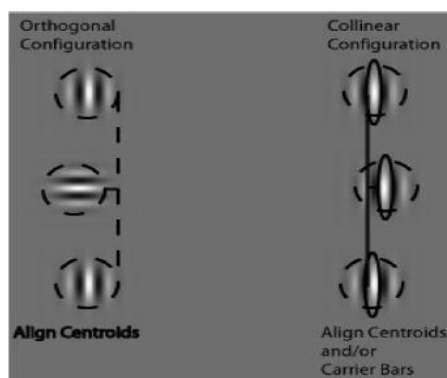


Figura 8-Arranjo Ortogonal vs Arranjo Colinear.-54

Existem várias explicações possíveis para o efeito da configuração que foram testadas:

- **Média espacial:** prevê que o efeito de crowding depende do número dos distratores mas não da sua orientação ou configuração. Os resultados demonstram que o limiar difere entre as configurações com número igual dos distratores, dando luz a modelos que se baseiam na média espacial ou orientação local. -23
- **Resolução espacial:** o crowding é produto de integração inapropriada de caracteres. De acordo com essa explicação, crowding ocorre quando o sujeito tem de identificar um caracter complexo dentro do alvo. Como resultado, o campo de integração fica limitado, o processo da integração também incorpora a informação dos sinais distratores. Porém, de acordo com essa explicação, a extensão de crowding é determinada exclusivamente pela separação alvo-distrator e pela excentricidade. Se crowding fosse a consequência apenas desse mecanismo espacial então haveria diferenças entre configurações quando se usa a mesma separação distrator-alvo. De acordo com outra explicação, crowding representa limitação da resolução atencional - é assumido como o resultado de pobre acuidade atencional que proíbe os sujeitos de detetar o alvo independentemente da acuidade visual. -6,24,26
- **Incerteza Posicional:** a localização espacial está limitada e o crowding é o resultado de reportar um distrator em vez do alvo. -51
- **Destaque do alvo:** Felisberti demonstrou que a dominância do alvo pode atenuar o efeito de crowding. Os distratores adjacentes em diferentes configurações diferem pelo contraste que produzem. Em contornos suaves há uma mudança gradual na orientação do distrator o que produz pouca competição com contraste alvo/distrator. Em contornos aleatórios, há um forte contraste entre pares, criando regiões salientes adicionais que competem com alvo e reduzem a performance. -55
- **Agrupamento:** essa explicação põe crowding no estado de processamento que lida com contornos e não com características básicas como orientação. -56,57

Uma das características mais relevantes de crowding é a **anisotropia do tipo dentro-fora** (figura 9). -19 O elemento de fora sofre menos crowding do que elemento de dentro. Infelizmente a anatomia da região V1 não pode explicar na totalidade essa anisotropia. O fluxo ótico causado pela locomoção é, normalmente, direcionado para fora, enquanto o fluxo ótico causado pelos movimentos sacádicos é sempre direcionado para dentro. Este último, de acordo com vários estudos, está mais relacionado com crowding. Existem vários mecanismos que podem explicar esse efeito:

Inibição local entre os caracteres semelhantes

Não explica a forte anisotropia dentro-fora. Assumir que os caracteres de Gabor usados em experiências podem suprimir-se uns aos outros de modo que se confundem as orientações ortogonais implica que o contraste deles também diminui, o que não foi verificado.

Agregação local de caracteres individuais

Pelli e Levi - concluíram que temos duas etapas de processamento em visão periférica: na primeira os caracteres individuais são detetados e ocorre supressão dos contornos. Durante a segunda etapa a informação é agrupada dentro da área de campo visual proporcional a excentricidade de estímulo. -24,37

Já para Wilkinson, a agregação é a parte de mecanismo de deteção. A agregação espacial pode ser entendida como fenómeno do “quê” mas não de “onde”: o caracter individual é apresentado, mas a informação sobre a sua localização está perdida. -43

Modelo de duplicação anisotrópica

O modelo prevê que todos os objetos periféricos vão aparecer a dobrar. Consegue explicar como os caracteres de fora aglomeram os caracteres de dentro, mantendo-se identificáveis.

Modelo de agrupamento anisotrópico

Em vez de duplicação, o caracter de fora pode ser agrupado com o caracter de dentro.

Modelo de contraste anisotrópico de caracteres

A deteção de contraste de orientação é uma tarefa mais simples do que a discriminação.

Concluindo, o modelo que pressupõe a anisotropia em crowding está de acordo com a teoria de que o crowding é causado pela limitação da resolução atencional. -19



Figura 9 -Anisotropia do tipo dentro-fora.-33

No que toca ao **arranjo do alvo**, os distratores em arranjo colinear (figura 8) não melhoram a deteção do contraste na periferia, acontecendo o contrário com a fóvea. Em visão periférica, para os estímulos lineares (figura10, à esquerda) e para os estímulos ortogonais (figura10, à direita), são mais simples de identificar. -33

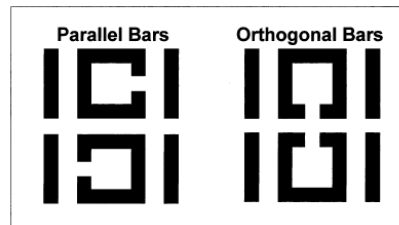


Figura 10 -Arranjo Linear vs Arranjo Ortogonal.-11

O efeito de crowding é bastante mais pronunciado se o alvo e os distratores tiverem um arranjo horizontal do que se for vertical. Uma das explicações possíveis pode ser o facto de lermos na horizontal. Provavelmente os nossos mecanismos atencionais tendem a organizar os caracteres horizontais numa unidade única, e por consequência, a forma da nossa “janela de atenção” é mais alongada horizontalmente. -58

Existe uma forte influência da **frequência temporal** em crowding - aumento em frequência diminui crowding, devido ao aumento de sinal por unidade de frequência. A frequência temporal também invoca a atenção. A atenção por si só não pode individualizar as fases (e consecutivamente as identidades) dos componentes individuais que compõem o distrator. A resolução espacial da atenção é cerca de metade da excentricidade o que é muito semelhante ao espaçamento crítico em crowding. Se o crowding aparece no nível de limite temporal da atenção, então não é um processo de baixa ordem (pelo menos não na sua totalidade) e tem limites temporais muito robustos. -59

O **contraste** do alvo e dos distratores também tem grande influência. Curiosamente, se os

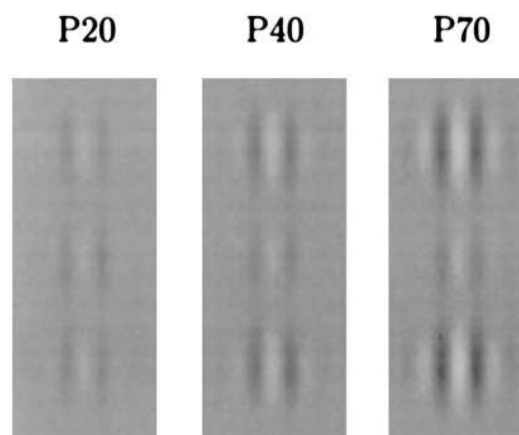


Figura -11 Variação do contraste de alvo em fase .-60

distratores forem de baixo contraste não há qualquer redução no efeito de crowding. Uma explicação plausível é a relação em fase ou orientação entre alvo e os distratores. (Figura 11) Outra explicação assenta nas diferenças entre as tarefas. As tarefas da resolução das letras geralmente são pouco dependentes do contraste. Existe uma hipótese chamada de agrupamento por contraste que prevê que o crowding deve ser máximo quando o contraste do alvo e dos distratores é igual e decresce drasticamente quando contraste dos distratores é mais alto/baixo do que do alvo. Kooi e companheiros revelaram que crowding é máximo quando o alvo e os distratores partilham os mesmos parâmetros, mas não conseguiram obter resultados fiáveis. -38,60

A invariância de **espaçamento crítico** verifica-se quando o alvo e os distratores têm caracteres semelhantes. Os distratores com caracteres diferentes do alvo produzem menos crowding. Esse efeito débil é reportado como a redução no espaçamento crítico. A extensão espacial para uma localização e direção particular não depende do alvo/distrator. -61

Para todos os caracteres, o limiar da identificação dos conjuntos periféricos começa a aumentar assim que o espaçamento entre alvo-distrator está abaixo do espaçamento crítico. Quando o alvo é apresentado na fóvea (0° de excentricidade) nenhum dos caracteres demonstra o aumento de limiar de deteção para qualquer espaçamento do distrator. O aumento de limiar para orientação e tamanho é comparável com o aumento para tonalidade e saturação. O crowding afeta a identificação do tamanho, tonalidade, saturação e não está restringido a identificação do carácter. O espaçamento crítico depende linearmente da excentricidade quando declive é aproximadamente 0,5. Sendo assim, a lei de Bouma é válida não só para orientação mas também para tamanho, tonalidade e saturação. -19, 61,62

O crowding com espaçamento crítico anormalmente grande pode acontecer em condições clínicas como agnosia aperceptiva e ambliopia estrábica.

O reconhecimento do alvo melhora quando este é cercado pelos distratores numéricos em vez de letras. Todavia o oposto acontece quando a letra-alvo é cercada pelos distratores parecidos com as letras (que não as próprias letras) sendo um efeito paradoxal. O crowding não pode ser explicado só pela inibição através das características do distrator. -61

Os números são mais adequados do que as letras para testar as características de reconhecimento de alvo, a semântica não tem qualquer papel nesse processo. Para além disso, a leitura normalmente dá-se em condições de alto contraste e tamanho de carácter pequeno, evidenciando o sistema parvocelular enquanto que, para reconhecimento no limiar do contraste entra em jogo o sistema magnocelular. -51,63

Adicionar **movimento** ao alvo tem pouca influência. Já que o movimento *per se* não afeta crowding, as pistas permitem ao observador seleccionar o estímulo (em movimento). -63

3.6.2. Crowding e Atenção. Que ligação?

Se o crowding fosse um fenómeno puramente atencional, era previsível que as pistas da localização diminuíssem o efeito. Essas pistas espaciais não afetam o espaçamento crítico. Assim o crowding sobrestima a hipótese de ser causado, pelo menos parcialmente, pelo mecanismo ascendente de processamento visual, como prevê a teoria dos campos da integração.

Podemos olhar para espaçamento crítico em crowding como a resolução mínima da atenção que trata dois objetos como um só. Motter e Simoni concluíram, que o reconhecimento de cada alvo está limitado pelo espaçamento crítico para crowding, o que invoca a atenção seletiva. Essa atenção seletiva melhora o reconhecimento dos objetos. Todavia, a partir do momento em que não afeta o espaçamento crítico, a atenção seletiva passa a ser o fator de separação dos objectos.-64

A presença dos distratores interfere com a seleção (pois eles caem dentro da região seletiva) e ativa a supressão de contornos dentro do mesmo hemi-campo. A aglomeração ascendente compulsiva é estrangida pelo espaçamento crítico. Os caracteres dentro do espaçamento crítico de alvo aglomeram-se independentemente de todo o processamento fora desta região. Todavia, isso não prevê qualquer interação fora das regiões não aglomeradas. Os processos de atenção selecionam os alvos na presença dos distratores, já a seleção de alvo sem a presença dos distratores é um processo diferente. Sendo assim, a identificação da palavra num conjunto desordenado vai ser afetada pela seleção e pelo processamento dos distratores, prejudicando assim a habilidade de identificar o alvo: fenómeno de crowding.

A atenção limita a aglomeração global e o crowding limita a estimação da orientação local. É importante notar que isso significa que os efeitos de crowding e atenção são dissociativos para orientação, pois o crowding afeta a fidelidade com que a orientação dos caracteres individuais é estimada e a atenção afeta a aglomeração destes caracteres em níveis de processamento mais avançados.

A atenção seletiva diz que o tempo da exposição, a localização e o carácter definem o alvo. A atenção é necessária para detetar os alvos colineares com o contraste mais baixo do que envolvente, pois o processamento da atenção e da inibição divisiva estão relacionadas uma com outra.

Os mecanismos de atenção podem melhorar aperfeiçoando a amostragem global, não reduzindo o ruído induzido pelo crowding. Já foi demonstrado que direcionar a atenção para a localização de alvo cercado pode apurar a sua identificação ou a discriminação. Não implica que crowding resulte de qualquer tipo de limite atencional, significa apenas que a atenção adicional pode atenuar os efeitos de crowding. A experiência de Dakin mostra que a atenção pode ser usada

para aliviar a quebra advinda de crowding. Os autores concluíram que o efeito da atenção é essencial para entender o crowding. -27,65,66

3.7. Aspetos do desenvolvimento visual e do fenómeno de crowding

Infelizmente pouco se sabe sobre a altura exata do aparecimento de crowding, mas os dados indicam que este pode interferir mais na avaliação de acuidade visual numa criança de 5 anos do que num adulto.

Em 1999, Bondarko e a sua equipa de investigação levaram ao cabo uma experiência de medida de acuidade visual e efeito de crowding em crianças de 3 a 9 anos de idade e concluíram que a acuidade visual aumenta com a idade e chega aos níveis de um indivíduo adulto por volta dos 7 anos de idade. Foi claramente demonstrada a influência negativa dos objetos a volta do estímulo central na sua deteção (crowding). O grupo de controlo de adultos também manifestou efeito de crowding que os autores do estudo julgaram estar relacionado com as interações entre os canais espaciais de alta frequência do córtex, que morfológicamente se desenvolve por completo aos 7-9 anos de idade. -67

Num estudo muito recente de Norgett e Siderov em crianças entre 4 e 9 anos de idade, verificou-se que se forem mostrados os optótipos únicos não existe qualquer diferença, ou seja acuidade visual sem crowding desenvolve-se mais rapidamente do que a acuidade visual com crowding e que estes dois tipos de acuidade não se desenvolvem em paralelo. -68

O melhoramento nas tarefas que incluem crowding com a idade reflete a regressão dos fatores subjacentes ao crowding - influência de interação dos contornos, o efeito de instabilidade de olhar (excentricidade) e fatores atencionais. Posto isso, a diminuição de crowding com idade pode resultar de mudanças na magnitude e / ou extensão da integração dos contornos, dum maior controlo da fixação ou numa melhor atenção e habilidades cognitivas gerais ou então numa combinação destes três fatores. Notoriamente, o contributo da atenção para o crowding é menor na fóvea do que na periferia, talvez por causa do mecanismo de atenção seletiva em crianças ser imaturo. A resposta comportamental das crianças em tarefas de reconhecimento, quando estas se encontram no limite da sua acuidade visual, também pode variar com a idade. -7

Olhando para as diferenças óticas, entre os 5 e os 18 anos o diâmetro pupilar e o comprimento axial aumentam, o poder do cristalino diminui, porém a curvatura corneal mantém-se intacta. A função de transferência de modulação indica que a qualidade ótica de imagem formada em olhos de crianças de 5-7 anos é fortemente dependente do tamanho pupilar e é um pouco melhor que a dos jovens adultos. -69 Todavia, as pupilas pequenas causam maior difração.

A imaturidade retiniana é uma boa explicação para a imaturidade de acuidade visual aos 5 anos de idade. A densidade de cones nesta idade é metade da densidade dos cones dos adultos na região foveal, o comprimento de segmento externo é cerca de 30-50% menor. A densidade reduzida implica a redução na amostragem espacial, e por conseguinte, na acuidade visual. O comprimento insuficiente reduz a sensibilidade para a luminância, pois torna os cones menos eficientes para absorver a luz. -70

O crowding é maior em crianças do que em adultos, mesmo depois de acuidade visual para um optotipo isolado se torna madura. A acuidade para crowding ainda não está madura mesmo depois dos 10 anos de idade. -7

À primeira vista, as mudanças de atenção podem explicar o maior crowding, mais precisamente o fraco controlo atencional. As crianças não são tão boas quanto os adultos para filtrar os distratores irrelevantes.

Em suma, a acuidade visual para optotipo isolado amadurece entre os 5 e 8 anos de idade, mas a acuidade com crowding é ainda fraca mesmo com 11 anos de idade. -68

3.8 Crowding e as Tarefas de Leitura

As palavras são reconhecidas por partes. As letras são reconhecidas independentemente, a menos que elas estejam separadas pelo espaçamento crítico, caso contrário, aglomeram-se entre si prejudicando a identificação da palavra. -48 O espaçamento crítico para a aglomerando define uma área de isolamento, uma região sobre a qual o sistema visual integra características. A área de isolamento definida pelo espaçamento crítico é a menor área nesse local. O tamanho da área mínima de isolamento aumenta com a excentricidade, mas é independente do tamanho e do tipo do alvo.-71 Na periferia, a menos que o espaçamento seja suficiente, mais do que um objeto irá cair na área de isolamento, comprometendo o reconhecimento. Com efeito, a leitura periférica é muito mais lenta do que a leitura central (por exemplo 150 palavras/min para fóvea, 10 palavras/min na periferia). Aumentar o espaçamento não torna a leitura periférica mais rápida, o que poderá sugerir que a aglomeração (crowding) não é o limitante para leitura.

O conceito de limite visual para a leitura refere-se ao número de letras adjacentes que podem ser reconhecidas sem mexer os olhos. Essa ideia é plausível para com o facto de que a velocidade de leitura é influenciada pelo número de letras que podem ser reconhecidas a primeira vista. Sabe-se que existem três mecanismos sensoriais que reduzem o limite visual - diminuição de acuidade visual, crowding entre as letras adjacentes e baixa precisão de posição dos sinais em visão periférica.-72 O aumento de espaçamento entre as letras reduz o crowding, mas ao mesmo tempo afasta o texto para os pontos mais periféricos da retina reduzindo a precisão posicional. Arditi defendia a ideia de que crowding ocorre em visão central perto do limite de resolução.-73 Se os efeitos do espaçamento são devidos ao crowding, é de esperar efeitos de espaçamento mais pronunciados perto do limite de resolução visual. Visto que o crowding é mais pronunciado para letras de pequenos tamanhos, é de esperar que uma pequena separação entre as letras reduza o limite visual e a velocidade de leitura em letras impressas de tamanho pequeno.

A hipótese que prevê a dependência de espaçamento de letra para o limite visual de leitura e a velocidade de leitura foi comprovada - magnitude do limite visual para a leitura diminui em palavras com espaçamentos excessivamente grandes, resultando num decréscimo de velocidade de leitura.-72

O maior impacto do espaçamento entre letras na velocidade de leitura perto do limite da acuidade visual é devido a maior importância do tamanho no limite visual de leitura. Quando a informação sobre o comprimento da corrente das letras é incerta, os observadores tendem a sobrestimar a dimensão de correntes das letras pequenas e juntas. Tipicamente, o observador omite uma das letras ou combina duas letras vizinhas sobre estas condições. -73

Em pacientes com baixa visão, o crowding é parcialmente responsável pela sua fraca performance na leitura. Após vários estudos, demonstrou-se que a velocidade de leitura na periferia aumenta dramaticamente com espaçamento vertical e é sempre mais lenta do que a velocidade de leitura medida com as palavras sem distrator. -74 As interações entre crowding e os outros fatores como atenção e / ou controlo visuo-motor dependem do método usado para estudar a velocidade de leitura (modo de leitura de página ou apresentação rápida de alvos). -75

Uma grande parte da dificuldade dos indivíduos ambliopes com leitura consegue-se explicar através do crowding. Levi, Pelli e Songe em 2007 através do seu estudo responderam a algumas questões referentes a leitura dos ambliopes e possível intervenção de crowding. Será que a leitura dos ambliopes está comprometida por causa de maior tamanho de letra requerido (pior AV) ou por causa de um maior espaçamento requerido (menor crowding)? Tanto para ambliopes como para observadores com a visão normal, na fóvea e na periferia o espaçamento crítico para crowding é igual ao espaçamento crítico para leitura, assim é o crowding e não a acuidade visual que limita a leitura. A ambliopia não afeta a leitura periférica, exceto nas situações em que o crowding foveal impede os pacientes de ler impressões muito finas. Não se pode concluir que o desempenho retiniano seja idêntico ao da fóvea de um ambliope, pois ao ler centralmente os olhos ambliopes têm um espaçamento crítico muito maior que o normal. Para uma periferia normal, tanto o espaçamento crítico como o nível de leitura estão muito deteriorados em relação a fóvea. Em caso de ambliopia o crowding limita a leitura somente através do limite visual de leitura: o número de letras que não estão aglomeradas. Os caracteres não estão aglomerados só e apenas quando o espaçamento entre eles é menor do que o crítico. O espaçamento do texto pode ser uniforme, mas o espaçamento crítico dos observadores aumenta com a distância da fixação, então o limite visual para leitura alarga-se até ao espaçamento crítico. Os ambliopes têm espaçamento crítico normal na periferia, daí quando o limite visual de leitura se estende até a periferia, essa extensão é normal o que prevê os níveis normais para leitura. -76

Será que é possível contornar o problema de crowding através de alguma aprendizagem específica?

O estudo de Huckauf e Nazir em 2007 demonstrou que depois de treino específico quando as sequências (Figura12) mudavam sem qualquer repetição não houve melhoria na performance. A ausência do efeito de aprendizagem sugere que os efeitos de aprendizagem não-específica são irrelevantes. -77



Figura 12-Alvos não alfanuméricos usados na experiência de Huckauf e Nazir .-77

Apesar do reconhecimento de corrente de letras melhorar após o treino, as letras isoladas não beneficiam com a aprendizagem. Para conseguir reconhecer o alvo corretamente seria necessário reduzir a interferência entre o alvo e o distrator.

A aprendizagem significa que a representação interna de corrente de letras tem por base as experiências sensoriais. Os resultados de estudo sugerem que um dos efeitos mais importantes de aprendizagem é que o crowding em corrente de letras diminui com a aprendizagem. -77

No que toca a velocidade de leitura, Chung em 2007 revelou que infelizmente a melhoria na deteção das letras não significa aumento na velocidade de leitura. Ao contrário do que se podia prever, o crowding não é o fator limitante primário para velocidade de leitura em visão periférica.-13

Face a teoria da atenção, o achado de que o treino melhora a performance de identificação para as letras aglomeradas pode ser explicado simplesmente como o resultado de os observadores serem capazes de direcionar melhor a atenção no alvo central do que dispersar a atenção para os distratores. Em alternativa, a respeito da teoria de integração dos caracteres, a melhoria na identificação das letras pode ser consequência dos observadores conseguirem integrar os caracteres corretos da letra aglomerada, em vez de integrarem os caracteres incorretos de letras do distrator.

Contudo, parece haver uma concordância de que existe alguma melhoria na velocidade de leitura para as impressões pequenas, mas a magnitude dessa melhoria está limitada pela variabilidade intrínseca associada com a comparação de velocidade pré/pós treino para cada tamanho de impressão, assim como para as variações individuais dos observadores.

Capítulo 4

Ambliopia

4.1. Generalidades

O termo “ambliopia” provém de grego, onde “ambly” significa “preguiçoso” e “opia” significa “visão”. A ambliopia é uma desordem visual comum, estima-se que afeta 1% a 4% da população em geral(Figura 11).

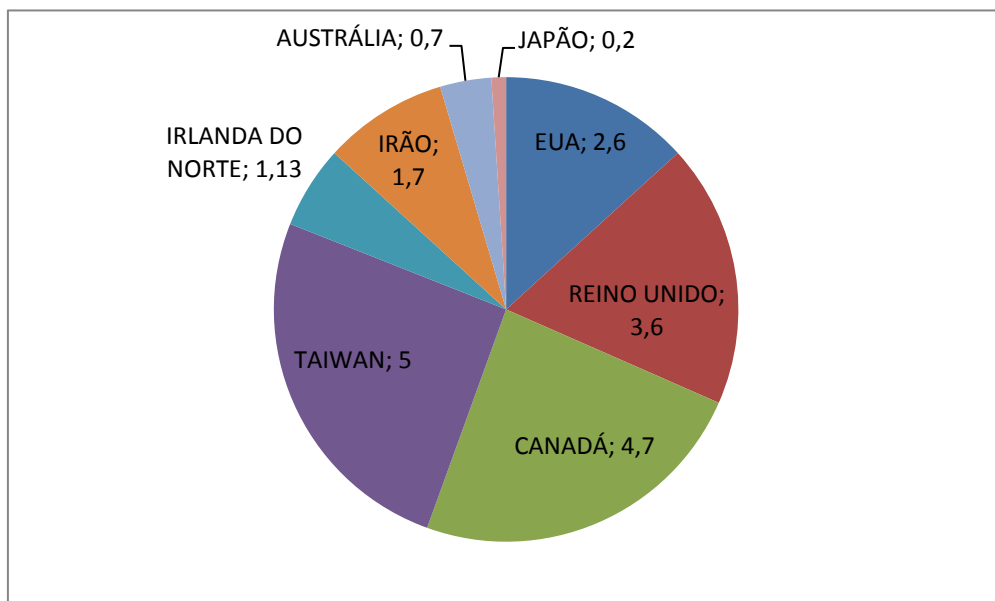


Figura 13-Distribuição da Ambliopia. -78

A ambliopia corresponde a uma falha no desenvolvimento da função visual que degrada a visão espacial e a esteriópsia, está normalmente associada ao estrabismo, à anisometropia ou à deprivação visual nas etapas iniciais do desenvolvimento da visão. O desenvolvimento anormal da visão central como causa de ambliopia foi comprovado em 1981 pelos autores David H. Hubel e Torsten Wiesel. A experiência levada ao cabo por eles através da examinação direta de gatos com privação visual valeu-lhes o Nobel de Medicina. -79

A ambliopia pode ter múltiplos fatores que variam na severidade e não no tipo. Em adultos a ambliopia é normalmente diagnosticada através de queda significativa da acuidade visual que não pode ser corrigida com uso de compensação ótica. -80

A ambliopia está associada a uma sensibilidade ao contraste reduzida, a acuidade visual fraca e a distorções espaciais. -82-85

4.1.1. Tipologia da Ambliopia

Tal como mencionado, a ambliopia pode ser causada por estrabismo, por anisometropia ou por privação visual. São esses os três grandes grupos de classificação da ambliopia. -80

Ambliopia estrábica - no caso de uma criança, um desvio ocular cria duas imagens de um mesmo objeto em posições distintas do espaço. Para evitar a visão dupla, o cérebro vai suprimir a imagem com a qualidade mais fraca; No caso de um adulto dá-se lugar a diplopia devido a fraca plasticidade cerebral. Muitos pacientes jovens alternam a visão entre os dois olhos para desenvolver a mesma qualidade visual, contudo, se houver uma forte prevalência para desvio de um dos olhos, pode ocorrer ambliopia. A ambliopia estrábica é sempre unilateral e é mais frequente nos casos de endotropia. Todos os pacientes ambliópes estrábicos requerem algum tipo de terapia para a ambliopia. -80

Ambliopia refractiva - pode ser uni ou bilateral, a imagem mais nítida é sempre a predominante. Quando a ambliopia ocorre bilateralmente, devido a alta miopia ou hipermetropia, referimo-nos a ela como *ambliopia ametrópica*. O astigmatismo não corrigido, onde a imagem é mais desfocada num dos dois eixos provoca *ambliopia meridional*. A diferença refractiva significativa entre os dois olhos causa *ambliopia anisométrica*. Os pacientes anisométricos devem experimentar primeiro a sua correção ótica antes de determinar se é ou não necessária a terapia da oclusão. -80

Ambliopia por privação de estímulo - as condições como catarata congénita ou adquirida, ptose ou opacidade corneais podem causar ambliopia uni ou bilateral. Estas condições envolvem meios refractivos oculares e podem causar uma ambliopia mais severa. A ambliopia por privação pode necessitar da correção ótica antes de qualquer terapia da ambliopia. -80

4.1.2. Processamento Visual na Ambliopia

A privação visual durante a infância altera tanto organização anatómica como função do córtex visual primário. -79 A decisão visual envolve um conjunto de processos através dos quais a escolha comportamental é feita no contexto de interpretações alternativas de estímulos sensoriais. Esta escolha é traduzida na seleção e na execução da resposta motora. Há claras evidências em estudos neurofisiológicos, que estes processos da decisão estão distribuídos pelas áreas do córtex sensorial, parietal e frontal. Durante o desenvolvimento, o olho amblíope, está privado de integrar o controlo de decisão visual, tanto por causa da desfocagem crónica como por causa da supressão constante que elimina a imagem do olho mais fraco. Esta entrada monocular anormal pode ter consequências no desenvolvimento estrutural e funcional das regiões do cérebro ascendentes do córtex visual primário. -87-89

Farzin e Norcia através da experiência com C's de Landolt cercados pelos distratores (figura14) notaram que os participantes amblíopes eram capazes de processar o estímulo identificando corretamente o alvo, mas a interferência dos distratores teve o maior impacto no seu timing de seleção da resposta. Porém, não ficou totalmente claro se esta demora na resposta é específica para o tipo de tarefa, ou se houve alguma tendência não relacionada com processo de decisão dentro do grupo de teste. -89

Do mesmo trabalho, conclui-se que o facto de haver uma seleção de resposta

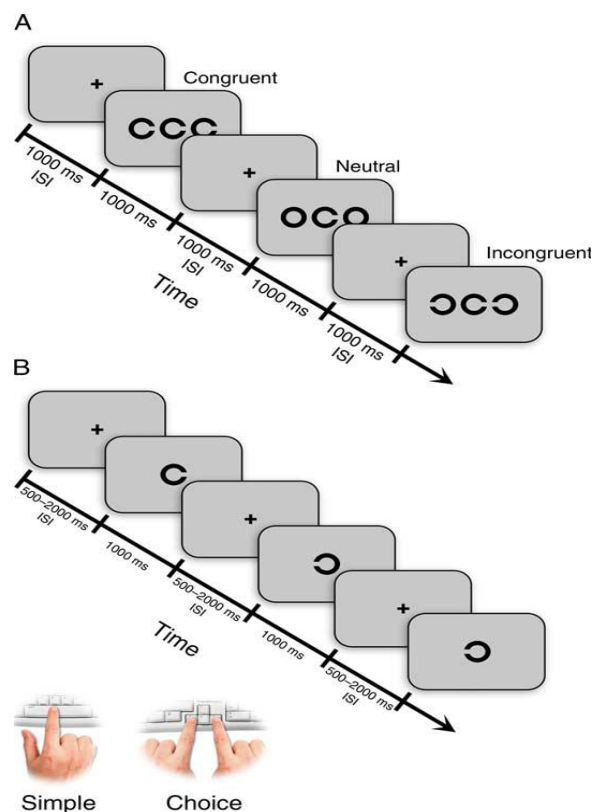


Figura 14-Alvos C de Landolt -89

comprometida, tanto nos olhos amblíopes como nos não-amblíopes sugere que o desenvolvimento normal dependa da presença de binocularidade durante infância. A

precisão na deteção e discriminação é reduzida em visão monocular, tanto em olhos amblíopes como em olhos normais.-89 As anomalias de sensibilidade ao contraste e acuidade visual, comprometem as tarefas de processamento visual da alta ordem, inclusive aqueles que exigem os fatores cognitivos como atenção. -40,90 As conexões entre córtex visual, córtex pré-frontal e córtex medial frontal são usados para programar e executar as decisões visuais e podem ser degradadas por desuso durante o período crítico (olho amblíope) e pela perda da binocularidade (olho não-amblíope).

O cérebro das crianças tem uma plasticidade logo após o nascimento. As conexões cerebrais funcionais são instáveis e facilmente rompidas pela visão binocular discordante. A explicação mais comum para tal é redução dos neurónios do córtex visual primário, orientados para frequências espaciais altas. Para além disso, é sabido que os amblíopes, exibem sérias dificuldades em manter a fixação estável.-91

Zhang et al em 2008 através de Potências Evocados Visuais (VEP) e Electrorretinograma (ERG) estudaram a influência da fixação instável dos amblíopes no seu desempenho visual. As conclusões deles são concordantes com estudos anteriores onde se conclui que os desvios da posição do olhar ao ponto de fixação eram maiores para olhos amblíopes do que para olhos não amblíopes.-91,92 Essas mudanças na posição de olhar provocam a perda de locus retiniano específico para cada estímulo, mandando-o para as regiões parafoveais onde as células são muito menos sensíveis aos estímulos pequenos.

As alterações da resposta espacial face às alterações do córtex V1 e/ou desvios em colunas de dominância ocular são comuns na ambliopia. Os sujeitos amblíopes têm respostas anómalas para estímulos da visão central, porém V1 não é o maior locus de déficit de processamento na ambliopia, há uma maior prevalência de locais fora da área cortical V1.

Os amblíopes não são precisos na discriminação de formas, apresentando limiares de identificação muito altos tanto para linhas como para curvas. Os estudos científicos demonstram que estes limiares, são maiores em amblíopes estrábicos do que em amblíopes anisométricos.

Os amblíopes, por norma, têm mais défices na discriminação de formas curvas. Ao contrário do que esperado, têm ilusões de orientação que podem ser a consequência de filtragem anormal de pistas e não da sensibilidade reduzida a fase.-92,94 Ou seja, os amblíopes são sensíveis à fase de estímulo, todavia, são menos

sensíveis às mudanças de fases espaciais do que os indivíduos normais. Simplesmente, os amblíopes “analisam” as pistas de maneira diferente para perceber as formas.

Em comparação com o córtex estriado, sabe-se muito menos sobre os efeitos de ambliopia no córtex extra estriado como processamento visual na área V2. Há evidências de que a informação espacial da primeira e da segunda ordem podem ser processadas de forma independente em córtex visual.⁻⁹⁵ Mas ainda não se sabe ao certo, se o padrão das interações espaciais que ocorrem no córtex de observadores normais ou amblíopes, é qualitativa e quantitativamente similar para os estímulos da primeira e da segunda ordem.

Wong et al concluíram que os amblíopes têm défices em etapas básicas de processamento da área visual V2.⁻⁹⁶ Em amblíopes estrábicos, as conexões horizontais anormais são seguidos de experiências visuais anormais durante o desenvolvimento, e podem explicar as sincronizações menos robustas entre os neurónios. A inibição supera as conexões horizontais entre colunas de dominância ocular e colunas da orientação, podendo estar na base da supressão interocular em estrábicos.⁻⁹⁷ Os estímulos da segunda ordem espacialmente isolados, produzem interações supressivas em cada olho de observadores amblíopes, o que demonstra défice de processamento de alta ordem.

O desequilíbrio funcional entre os dois olhos durante o desenvolvimento anormal pode levar a mudanças permanentes no córtex, afetando não só as vias visuais do olho amblíope mas também as vias visuais do olho não amblíope, assim como as interações oculares.

Huang et al concluíram que os sinais em olhos amblíopes eram menos analisados, do que em olhos não amblíopes, em fase de combinação binocular; o rácio de contraste efetivo diminuiu para olho amblíope assim que se passou à fase de combinação binocular; em combinações binoculares, os sinais da ambliopia são atenuados, e outro olho tem um ganho no controlo de contraste bem mais elevado. Eles acharam que ambliopia anisométrica leva tanto aos défices mono como binoculares.⁻⁹⁸

Levi et al revelaram que os amblíopes mostram défices na integração do processamento global da informação, mesmo já tendo sido compensados para os defeitos de baixa ordem.-76

4.2. Padrão das Disfunções Visuais na Ambliopia

Em 1982, Levi e Klein demonstraram que amblíopes com estrabismo têm falhas desproporcionais entre acuidade visual de resolução e acuidade de Vernier, enquanto amblíopes com anisometropia têm falhas bastante proporcionais ao déficit na acuidade visual.-83

Este e os estudos posteriores levantaram suspeitas de que cada tipo de ambliopia tem um padrão de disfunções visuais distintos. Os defeitos dos amblíopes consistem na: perda de acuidade visual, perda da sensibilidade ao contraste e perdas da esteriópsia. -99,100,101

Acuidade Visual e Sensibilidade ao Contraste:

Geralmente acuidade de Vernier em amblíopes anisometropes é algo mais fraca do que o esperado em relação à sua acuidade para os optótipos, passando-se o contrário com amblíopes estrábicos, estes têm acuidade visual LogMAR 15% mais baixa do que qualquer outro tipo de ambliopia, seja qual for a linha de acuidade visual.-102

Em termos de sensibilidade ao contraste, os amblíopes anisometropes têm limiares de contraste 28% mais fracos, e os amblíopes estrábicos são 26% melhores do que qualquer outro grupo nesta tarefa.-102

Presumivelmente, a sensibilidade ao contraste média e a acuidade visual é significativamente menor em estrábicos e em amblíopes por privação, possivelmente porque a visão dos seus olhos não-dominantes está comprometida pela desfocagem durante desenvolvimento.

Desta feita, pode-se concluir que ambliopia não é uma anomalia caracterizada simplesmente pela perda da acuidade visual de optótipos.

A perda da resolução espacial deve resultar em perda da estereoacuidade, mas é nitidamente um fator significativo para acuidades espaciais abaixo de 2 ciclo/grau.

Visão Binocular/Estereoacuidade:

Se todos os amblíopes estrábicos fossem estrábicos desde a nascença, o seu sistema binocular seria rompido pela estimulação binocular incoerente. Os sujeitos com alinhamento ocular correto podem ter experimentado uma entrada visual degradada, mas se as entradas entre os dois olhos foram equivalentes, nem que fosse nas frequências especiais baixas, então visão binocular deve ter tido um desenvolvimento relativamente normal. O estudo de Levi et al demonstrou que apenas 10 % de amblíopes estrábicos passam no teste de esteriópsia e movimento contra 35% de amblíopes anisometropes. Esse resultado é consistente com estudos anteriores.-103,104

A maior distinção entre amblíopes estrábicos e amblíopes anisometropes é a diferença na função binocular. O estrábico intermitente com função binocular residual, vai ter a mesma acuidade visual LogMAR e de Vernier que um anisometrope com a função binocular residual. A perda da visão binocular como consequência do desalinhamento ocular, e não o estrabismo em si, controla o padrão da perda visual. Os indivíduos que sofreram tanto da perda da binocularidade como da visão desfocada nos seus olhos não dominantes durante desenvolvimento ocular, tendem a ter perdas de acuidade maiores. Os amblíopes profundos não têm esteriópsia.-105

Comparados com os outros indivíduos com visão anormal, os sujeitos que não têm binocularidade tendem a ter acuidades inferiores para tarefas de padrão (optótipos, acuidade de Vernier) e melhor sensibilidade ao contraste. Os observadores, que têm binocularidade conseguem melhor acuidade para padrões, mas pior sensibilidade ao contraste. A explicação é que a sensibilidade acrescida reflete mudanças em primeira etapa de processamento (área visual V1), enquanto diminuição de acuidade em tarefas com padrão, reflete processamento em etapas subsequentes.-105

Vários estudos demonstraram que os amblíopes têm falhas graves nessas etapas de alto processamento. A acuidade de Vernier requer ao observador discriminar entre duas configurações que diferem em orientação ou localização, enquanto um optotipo requer reconhecimento das relações espaciais entre vários caracteres. Assim que aumenta o nível de complexidade do padrão, a performance dos amblíopes diminui.-105

Os observadores privados da binocularidade, comportam-se como se não conseguissem encontrar a informação relevante para os seus olhos não dominantes,

mesmo em tarefas de alta visibilidade. Sob condições de observação binocular naturais, a imagem do olho não dominante é suprimida. Mesmo em visão monocular a informação de olho não dominante é suprimida de forma intermitente ou então a atenção não pode ser dirigida para ele.

Na ambliopia anisométrica apenas as perdas de sensibilidade ao contraste mais severas vão limitar a estereoacuidade. O defeito observado em estéreo performance representa a disfunção binocular por causa da ambliopia. -105

Na ambliopia estrábica, onde há perdas de sensibilidade ao contraste e posição, o maior obstáculo para estereoacuidade não é a perda em contraste (amplitude) mas perda em posição (fase). Estas perdas afetam todas as escalas e é a estereoacuidade máxima que pode ser atingido por um amblíope, pois afetam não só as disparidades mais pequenas, mas também as disparidades mais grosseiras. -105

4.3 Ambliopia e Crowding

O crowding é um defeito significativo na ambliopia. É de conhecimento geral, há várias décadas, que as pessoas com ambliopia têm acuidade visual melhor para optótipos isolados do que para optótipos em linha. Os efeitos de crowding mais pronunciados em amblíopes, podem ser devidos a uma acuidade visual baixa combinada com falta de espaçamento entre as letras, fraco controlo de fixação ou atenção dividida.

Estudos recentes demonstraram que o efeito de crowding em sujeitos com ambliopia estrábica estende-se para grandes distâncias retinianas, mesmo se testado com estímulo de tamanho e frequência espacial parecidos.-40 Ainda em 1997 Polat et al propuseram que defeitos amblíopicos em visão espacial, como o crowding, podem surgir nem que fosse parcialmente por interações espaciais de longo alcance. A ambliopia também está relacionada com o défice temporal, que inclui também defeitos na perceção de alvos em movimento, assincronia de discriminação, assim como a latência na resposta aos estímulos apresentados ao olho amblíope.-108 Bonnef et al demonstraram que o crowding espacial é o maior componente de défice de acuidade dos amblíopes estrábicos (mas não dos amblíopes anisométricos) e não está correlacionado com acuidade para optotipo isolado.-106 Os amblíopes estrábicos apresentam “crowding temporal” como uma forma de redução da acuidade visual, sob condições de apresentação rápida ou lenta dos estímulos em movimento. Mas o crowding em domínio espacial e temporal são correlacionados para o mesmo sujeito.-107

Portanto, o crowding espacial é um componente independente do défice de acuidade visual característico em amblíopes. Isto rejeita as hipóteses anteriores, o crowding não é devido a integração dentro dos campos recetivos colineares com o tamanho do alvo. O crowding temporal não pode ser explicado em termos de perdas de fixação ou fixação instável de amblíopes.-108,107

Os amblíopes estrábicos sofrem muito mais de crowding temporal e espacial do que os amblíopes anisométricos.-107

Se olharmos para crowding temporal como consequência da latência de resposta em amblíopes, esta é devida a sensibilidade ao contraste reduzida. Os amblíopes estrábicos têm sensibilidade ao contraste comparável ao dos amblíopes

anisométricos, enquanto ao mesmo tempo têm mais supressões laterais e crowding espacial.

Um dos problemas da ambliopia é uma integração espacial anormal e interações de longo alcance entre mecanismos locais. Foi demonstrado, que os amblíopes falham em pistas de detecção do contraste local na presença de distratores de alto contraste.-40,105 Também está demonstrado que os amblíopes têm fraca performance em tarefas de integração de contornos, o que parece ser específico para amblíopes com estrabismo. Portanto essa falha geral em integração espacial enfatiza que a ambliopia não se caracteriza apenas pela acuidade visual reduzida, mas também pela falha na percepção do contraste e inclinação.-93,108

No estudo de Bonneh et al , um grupo de estrábicos demonstrava alta supressão para distâncias espaciais curtas e incapacidade nas distâncias espaciais maiores. O grupo dos anisométricos apresentava uma supressão mais reduzida e alguma facilidade para as distâncias espaciais maiores.-106

A fixação instável de alguns graus, pode aumentar o crowding através da mudança de alvo para periferia. Em visão periférica normal, a extensão do crowding é maior do que na fóvea, e pode atribuir-se o crowding ao pobre controlo de fixação em estrábicos. Mas em 2004, Bonneh et al não conseguiram concluir que a falha em dirigir o olhar para alvo é antecedente ao crowding, pois para isso o défice de fixação devia ter atingido todas as configurações ao longo do eixo da mesma maneira, mas foi encontrada uma diferença significativa para configurações colineares e paralelas. Mesmo com dois olhos abertos, com fixação muito estável e perto do normal, os sujeitos amblíopes têm boa acuidade para único optotipo mas fraca para optótipos cercados dos distratores.-106

Ao contrário de ideia, que o crowding não está relacionado com masking simples, sabe-se que amblíopes anisométricos têm pouco crowding assim como poucas supressões laterais, enquanto amblíopes estrábicos têm altos crowding e supressões laterais. Para além de mais, em observadores estrábicos a supressão estava significativamente correlacionada com acuidade visual, mas de menor modo com o crowding em si.

A correlação entre supressão e crowding no grupo de estrábicos pode sugerir supressão devido a falha no processo de correspondência que opera ao longo do eixo horizontal e desloca preferencialmente para os cantos verticais.

Os amblíopes têm falha na seleção espacial, primeira das explicações é que o crowding na ambliopia, ocorre porque os caracteres locais são detetados, mas não são identificados. A segunda explicação prende-se com o facto de amblíopes terem uma fóvea supostamente plana e com a natureza do mecanismo de seleção espacial. Em ambliopia estrábica, acuidade visual ao longo do meridiano horizontal é relativamente uniforme comparativamente aos sujeitos normais ou amblíopes anisométricos. A terceira explicação está relacionada com os mecanismos de atenção. No estrabismo, há uma incompatibilidade contínua durante desenvolvimento entre fóvea e *preferred retinal locus*, onde está focada a atenção. Isto resulta numa fóvea plana e mecanismos de atenção dispersos.

Posto isto, o crowding tem maior extensão tanto em visão central como periferia de indivíduos com ambliopia, comparativamente aos indivíduos normais que experienciam crowding primariamente em campo de visão periférica.-89

Os estudos em macacos mostraram que os olhos amblíopes são menos sensíveis às frequências espaciais altas do que olhos não amblíopes. Hess et al, encontraram evidências de que as frequências espaciais mais relevantes para deteção de C de Landolt sem distratores são mais baixas do que as com distratores. O efeito de crowding no olho amblíope pode ser interpretado como baixa sensibilidade para frequências espaciais altas, quando alvo está cercado pelas outras letras ou barras.-108

Em observadores normais, sobre as condições onde ocorre interação dos contornos a escala de análise muda para as frequências espaciais altas para uma oitava. A maioria dos amblíopes fazem trocas de mais de um oitavo, essa troca está de acordo com a separação lateral dos contornos. Os mecanismos de segregação da informação em ambliopia são anómalos e por conseguinte, é usada uma escala de análise maior do que a apropriada. O incremento de interação dos contornos pode existir em mecanismos responsáveis pela segregação dos objetos em ambliopia.-4

Em regiões acima dos 10° de excentricidade, em campo visual normal, os contornos dos distratores produzem mudanças de escala na mesma direção e magnitude que na parafóvea dos amblíopes sugerindo a possibilidade da mesma explicação.-109

Os estudos atribuem o efeito de crowding na ambliopia a inibição lateral, alta demanda atencional ou variação de frequências espaciais mais relevantes. O estudo de Liu et al acrescenta que a identificação de formas locais em padrões hierárquicos

pode ser pior quando a estrutura global de estímulo hierárquico é mais saliente. O resultado está consistente com o facto de que a estrutura global contribui para o comprometimento de processamento local em ambliopia. -110

Nesta Tabela são referenciados os estudos mais importantes acerca do fenómeno de crowding na ambliopia, assim como as conclusões mais relevantes

Estudos mais relevantes	Principais Conclusões
Bonneh, Sagi, Polat (2007)	<p>Amblíopes estrábicos sofrem mais de crowding temporal do que os amblíopes anisométricos;</p> <p>O crowding temporal dá-se da mesma maneira em amblíopes estrábicos e anisométricos, independentemente da sua AV;</p> <p>O crowding não é proporcional a acuidade para um optótipo isolado, especialmente em amblíopes estrábicos (ver também 40,110)</p> <p>Os estrábicos têm falhas desproporcionais em acuidade para optótipo e acuidade de Vernier;</p> <p>Os amblíopes estrábicos são mais suscetíveis ao efeito de masking aquando uma exposição prolongada.</p>
Liu et al (2004)	<p>A saliência global do alvo contribui para o efeito de crowding na ambliopia anisométrica;</p> <p>O agrupamento por proximidade ocorre antes de agrupamento por similaridade e domina na perceção global da estrutura, mas os amblíopes cometem mais erros nesse tipo de processamento;</p> <p>A perceção local está inibida pela ambliopia, refletindo forte efeito de crowding;</p> <p>O olho amblíope é menos sensível às frequências espaciais altas, pois produz maior crowding.</p>
Hess et al (2001)	<p>A região de integração dos contornos é mais extensa para os amblíopes;</p> <p>Para detetar um C de Landolt, os amblíopes normais e severos usam aproximadamente a mesma escala de análise relativamente às suas acuidades visuais;</p> <p>Os amblíopes fazem uma mudança de escala na ordem de 1/8, progressivamente com a separação lateral dos contornos;</p> <p>Em região para além dos 10° de excentricidade em olhos normais os contornos produzem mudanças de escala na mesma direção e com a mesma magnitude que na parafóvea de amblíopes.</p>
Levi, Klein (2002)	<p>O crowding foveal não depende do tamanho de alvo em amblíopes, pois ocorre sobre maior extensão espacial;</p> <p>O crowding amblíopico é mais forte e não é específico à orientação;</p> <p>A etapa inicial da filtragem aparenta ter sensibilidade de contraste reduzida em amblíopes o que resulta em aglomeração excessiva durante a segunda etapa de processamento.</p>

Levi (2007)	<p>A segregação baseada na orientação aparenta ser normal ou aproximadamente normal em sistema visual de amblíopes;</p> <p>Os amblíopes apresentam defeitos de integração e segregação em processamento global da imagem mesmo quando compensados, porém não contribuem para crowding;</p> <p>Os amblíopes têm defeitos em área visual V1 e na sua via descendente por causa das interações binoculares anormais.</p>
-------------	---

Capítulo 5

Conclusão

5.1. Conclusões gerais

Da presente revisão bibliográfica acerca de fenómeno de crowding podemos concluir o seguinte:

- O fenómeno de crowding é uma ferramenta preciosa para estudo de mecanismos da perceção visual, nomeadamente deteção e integração da informação visual;
- É um fenómeno específico da retina periférica, não ocorrendo, por norma, na retina central: fóvea;
- O seu aparecimento, assim como a sua severidade dependem fortemente do arranjo do alvo e dos distractores em termos de tamanho, contraste, localização, espaçamento, tipo (números, letras, objetos);
- Os efeitos negativos do fenómeno de crowding nas tarefas críticas para o sistema visual, como a leitura, podem ser atenuados através de uma aprendizagem específica;
- Durante o desenvolvimento, a Acuidade Visual das crianças atinge os níveis de adultos por volta dos 7 anos de idade, mas Acuidade Visual para optótipos com alvos de crowding mantém-se imatura até aos 11 anos de idade;
- As pessoas com ambliopia têm um destaque especial. O crowding é mais pronunciado em amblíopes estrábicos do que em amblíopes anisométricos, pois os estrábicos têm uma binocularidade muito mais reduzida ou inexistente.

5.2. Investigação Futura

O fenómeno de crowding é um tema de grande destaque ao nível de investigação psicofísica mundial. Porém, em Portugal não existe qualquer referência à seu respeito, por isso começar a estudá-lo poderá introduzir um novo tema no panorama científico nacional.

Tal como já mencionado (subcapítulo 3.7.), para compreender melhor o desenvolvimento visual é útil recorrermos aos alvos de crowding. Visto que a leitura é uma atividade crucial no dia-a-dia e a sua iniciação dá-se durante os períodos de desenvolvimento visual ativo é de extrema importância perceber a influência do fenómeno de crowding na mesma.

Fora disso, o *locus* cortical exato onde se origina o fenómeno de crowding permanece uma incógnita. Elaborando os alvos específicos, e recorrendo também à Ressonância Magnética funcional por Imagem talvez seja possível desvendar este mistério.

Referências

1. Korte, W. (1923). Über die Gestalt auff assung im indirekten Sehen. Zeitschrift für Psychologie, 93, 17-82, Quoted translation by Uta Wolfe
2. Ehlers, H. (1936). The movements of the eyes during reading. Acta Ophthalmologica, 14, 56-63.
3. Flom, M. C., Weymouth, F. W., & Kahneman, D. (1963). Visual resolution and contour interaction. Journal of the Optical Society of America, 53, 1026-1032.
4. Bouma, H. (1970). Interaction effects in parafoveal letter recognition. Nature, 226, 177-178.
5. Levi, D. M., Klein, S. A., & Aitsebaomo, A. P. (1985). Vernier acuity, crowding and cortical magnification. Vision Research, 25, 963-977.
6. He, S., Cavanagh, P., & Intriligator, J. (1996). Attentional resolution and the locus of visual awareness. Nature, 383, 334-337.
7. Jeon, Seong Taek; Hamid Joshua; Maurer, Daphne; Lewis Terri L. Developmental changes during childhood in single-letter acuity and its crowding by surrounding contours. Journal of Experimental Child Psychology 107 (2010) 423-437
8. Huckauf, A. (2007) Task set determines the amount of crowding. Psychological Research (2007) 71: 646-652 DOI 10.1007/s00426-006-0054-6
9. Anstis, S. M. (1974). A chart demonstrating variations in acuity with retinal position. Vision Research, 14, 589-592.)
10. Hess, R. F., Dakin, S. C., & Kapoor, N. (2000a). The foveal crowding effect: physics or physiology? Vision Research, 40, 365-370.
11. Liu, L. (2001). Dual oriented mechanism in contour interaction Vision Research, 41, 853-858.
12. Liu, L., & Arditi, A. (2000). Apparent string shortening concomitant with letter crowding. Vision Research, 40, 1059-1067.
13. Chung, S. T. L., Li, R. W., & Levi, D. M. (2007). Crowding between first and second order letter stimuli in normal foveal and peripheral vision. Journal of Vision, 7, 1-13.
14. Danilova, M. V. & Bondarko, V. M. (2007). Foveal contour interactions and crowding effects at the resolution limit of the visual system. Journal of Vision, 7(2):25, 1-18.
15. http://thebrain.mcgill.ca/flash/i/i_02/i_02_cl/i_02_cl_vis/i_02_cl_vis.html
16. Levi, D. M., & Waugh, S. J. (1994). Spatial scale shifts in peripheral vernier acuity. Vision Research, 34, 2215-2238.

17. Levi, D. M., Klein, S. A., & Hariharan, S. (2002a). Suppressive and facilitatory spatial interactions in foveal vision: Foveal crowding is simple contrast masking. *Journal of Vision*, 2, 14
18. <http://www.d.umn.edu/~jfitzake/Lectures/DMED/Vision/Cortex/CorticalProcessing.html>
19. Pelli, D. G., & Tillman, K. A. (2008). The uncrowded window of object recognition. *Nature Neuroscience*, 11, 1129-1135.
20. Tripathy, S. P., & Cavanagh, P. (2002). The extent of crowding in peripheral vision does not scale with target size. *Vision Research*, 42, 2357-2369.
21. Li, W., Gilbert, C. (2012). Adult Visual Cortical Plasticity. *Neuron*, vol.25 iss.2, 250-264
22. Beard, B. L., Levi, D. M., & Klein, S. A. (1997). Vernier acuity with nonsimultaneous targets: The cortical magnification factor estimated by psychophysics. *Vision Research*, 37, 325-346.
23. Parkes, L., Lund, J., Angelucci, A., Solomon, J. A., & Morgan, M. (2001). Compulsory averaging of crowded orientation signals in human vision. *Nature Neuroscience*, 4, 739-744.
24. Pelli, Palomaes, Majaj (2004). Crowding is unlike ordinary masking: Distinguishing feature integration from detection. *Journal of Vision* (2004) 4, 1136-1169
25. Pelli D. G., Cavanagh, P., Desimore, R., Tjan, B., Treisman, A. (2007). Crowding: Including illusory conjunctions, surround suppression, and attention. *Journal of Vision*, 7(2):i,
26. Intriligator, J., & Cavanagh, P. (2001). The spatial resolution of visual attention. *Cognitive Psychology*, 43, 171-216.
27. Chakravarthi, R., & Cavanagh, P. (2007). Temporal properties of the polarity advantage effect in crowding. *Journal of Vision*, 7, 1-13.
28. Pöder, E. & Wagemans, J. (2007). Crowding with conjunctions of simple features. *Journal of Vision*, 7(2):23, 1-12,
29. <http://www.techcyn.com/feature.php?id=f2&issue=1>
30. Baars, Bernard J. *Cognition, brain, and consciousness: introduction to cognitive neuroscience*/Bernard Baars, Nicole Gage. – 2nd ed. Elsevier 2010, pp 164-166;
31. *Clinical Anatomy of the Visual System* (2005)-2nd.ed.; Elsevier Incorporation 2005; pp 238-240
32. Arman, A. C., Chung, S. T. L., & Tjan, B. S. (2006). Neural correlates of letter crowding in the periphery [Abstract]. *Journal of Vision*, 6(6): 804, 804a,
33. Cavanaugh, J. R., Bair, W., & Movshon, J. A. (2002). Selectivity and spatial distribution of signals from the receptive field surround in macaque V1 neurons. *Journal of Neurophysiology*, 88, 2547-2556.
34. Dakin, S. C., Greenwood, J. A., Carlson, T. A., & Bex, P. J. (2011). Crowding is tuned for perceived (not physical) location. *Journal of Vision*, 11(9):2, 1-13

35. Fang, F., Kersten, D., & Murray, S. O. (2008). Perceptual grouping and inverse fMRI activity patterns in human visual cortex. *Journal of Vision* (2012) 12(7):11, 1-24 Caclin et al. 188(7):2, 1-9
36. Kosovicheva A., Sheremata S., Rokem A., Landau A., Silver M. (2012). Cholinergic enhancement reduces orientation specific surround suppression but not visual crowding. *Frontiers in Behavioural Neuroscience*, September 2012
37. Petrov, Y., Carandini, M., & McKee, S. (2005). Two distinct mechanisms of suppression in human vision. *Journal of Neuroscience*, 25, 8704-8707.
38. Kooi, F. L., Toet, A., Tripathy, S. P., & Levi, D. M. (1994). The effect of similarity and duration on spatial interaction in peripheral vision. *Spatial Vision*, 8, 255-279.
39. Petrov, Y. & Popple, A. V. (2007). Crowding is directed to the fovea and preserves only feature contrast. *Journal of Vision*, 7(2):8, 1-9,
40. Levi, D.M., Hariharan, S., Klein, (2002) Suppressive and facilitatory spatial interactions in peripheral vision: Peripheral crowding is neither size invariant nor simple contrast masking *Journal of Vision* (2002) 2, 167-177.
41. Hariharan, S., Levi, D. M., & Klein, S. A. (2005). "Crowding" in normal and amblyopic vision assessed with Gaussian and Gabor C's. *Vision Research*, 45, 617-633.
42. http://lpsy.epfl.ch/people/hermens/delmenhorst_questions/q26_Francis.htm
!
43. Wilkinson Frances, Wilson Hugh R., Elleberg Dave (1997) Lateral interactions in peripherally viewed texture arrays Vol. 14, No. 9/September 1997/J. Opt. Soc. Am. A
44. Legge, G. E., Mansfield, J. S., & Chung, S. T. L. (2001). Psychophysics of reading—XX. Linking letter recognition to reading speed in central and peripheral vision. *Vision Research*, 41, 725-743.
45. Levi, D.M. (2008). Crowding—An essential bottleneck for object recognition : A mini-review/ *Vision Research* 48 (2008) 635-654
46. Gurnsey, R., Roddy, G., & Chanab, W. (2011). Crowding is size and eccentricity dependent. *Journal of Vision*, 11(7):15, 1-17.
47. Feng, C., Jiang, Y., & He, S. (2007). Horizontal and vertical asymmetry in visual spatial crowding effects. *Journal of Vision*, 7(2):13, 1-10.
48. Bouma, H. (1973). Visual interference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words. *Vision Research*, 13, 767-782.
49. Motter, B. C., & Simoni, D. A. (2007). The roles of cortical image separation and size in active visual search performance. *Journal of Vision*, 7(2):6, 1-15
50. Huckauf, A. (2007). Task set determines the amount of crowding. *Psychological Research*, 642-652, 2007
51. Strasburger, H. (2005). Unfocused spatial attention underlies the crowding effect in indirect form vision. *Journal of Vision* 5, 1024-37, 2002.

52. Sagi, D., & Julesz, B. (1987). Short-range limitations on detection of feature differences. *Spatial Vision*, 2, 39-49
53. Meinecke C.,Donk,M. (2002)Detection performance in pop-out tasks: Nonmonotonic changes with display size and eccentricity.*Perception*,31,591-602.
54. Petrov, Y., Popple A.V. (2007). Crowding is directed to fovea and preserves only feature contrast. *Journal of Vision*, 7(2): 8, 1-9
55. Felisberti, F. M., Solomon, J. A., & Morgan, M. J. (2005). The role of target salience in crowding. *Perception*, 34, 823-833.
56. Bonneh Y.,SagiD.(1999).Contrast integration across space. *Vision Research*,39,2597-2602
57. Polat, U.,Sagi, D. (1994) Lateral Interactions Between Spatial Channels: Suppression and Facilitation Revealed by Lateral Masking Experiments ; *Vision Res.* Vol. 33, No. 7, pp. 993-999, 1994
58. Feng,C., Jiang, Y.,He,S. (2007). Horizontal and Vertical Asymmetry in Visual Spatial Crowding Effect. *Journal of Vision*, 7(2): 13, 1-10
59. Zenger-Landolt,B., Heeger, D.J.(2003) Response Supression in V1 agrees with psychophysics of surround masking. *Journal of Neuroscience*, 23 (17), 6884-6893;
60. Chung, S.T.L., Levi, M.D., Legge, G.E. (2001). Spatial frequency and contrast properties of crowding. *Vision Research* 41 (2001), 1833-1850
61. Huckauf, A., & Heller, D. & Nazir, T. A. (1999). Lateral masking: Limitations of the feature interaction account. *Perception and Psychophysics*, 61 (1), 177-189
62. Berg R. , RoerdnikJ. , Cornelissen F.(2007).On generality of crowding: Visual crowding in size, saturation and hue compared to orientation. *Journal of Vision*, 7(2):14
63. Vidyasagar, T.R. (2001). From attentional gating in macaque primary visual cortex to dyslexia in humans. *Progress in Brain Research*, 134, 297-312
64. Motter B. C.(2005).Sensitivity of V4 neurons to sequence of letter-like stimuli. *Journal of Vision* 5(8): 909
65. Freeman, J.,&Pelli, D. G. (2007). An escape from crowding. *Journal of Vision*, 7(2):22, 1-14
66. Dakin, S. C., Bex, P. J., Cass, J. R., & Watt, R. J. (2009). Dissociable effects of attention and crowding on orientation averaging. *Journal of Vision*, 9, 1-16.
67. Bondarko V. M.,Danilova M. V.(1999).Dependence of the size of the inhibitory zone on the shape of the test stimulus in the crowding effect. *Journal of Optical Technology*,66,865-868.

68. Norgett Y., Siderov J. (2011); Crowding in Children Visual Acuity Tests - Effect of Test Design and Age. *Optometry and Vision Science*: August 2011-Volume 88 -Issue 8-pp 920-29
69. Carkeet, A. L., Leo, S. W., Khoo, B. K., & Eong, K. G. (2003). Modulation transfer functions in children: Pupil size dependence and meridional anisotropy. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 44, 3248-3256.
70. Lewis, T. L., & Maurer, D. (2005). Multiple sensitive periods in human visual development: Evidence from visually deprived children. *Developmental Psychobiology*, 46, 163-183.
71. Martelli, M., Majaj, N. J., & Pelli, D. G. (2005). Are faces processed like words? A diagnostic test for recognition by parts. *Journal of Vision*, 5, 58-70.
72. Legge, G. E., Cheung, S.-H., Yu, D., Chung, S. T. L., Lee, H.-W., & Owens, D. P. (2007). The case for the visual span as a sensory bottleneck in reading. *Journal of Vision*, 7(2):9, 1-15.
73. Arditi, A., Knoblauch, K., & Grunwald, I. (1990). Reading with fixed and variable character pitch. *Journal of the Optical Society of America*, 7, 2011-2015
74. Chung S. T. L., Legge G. E., Cheung S. H. (2004). Letter-recognition and reading speed in peripheral vision benefit from perceptual learning. *Vision Research*, 44, 695-709.
75. Bernard J.B., Scherlen A., Vitu-Thibault F., Castet E. (2007) Effect of line spacing on reading speed in normally-sighted subjects with an artificial scotoma. *Journal of Vision*, 7(9): 518
76. Levi, D. M., Song, S., & Pelli, D. G. (2007). Amblyopic reading is crowded. *Journal of Vision*, 7(2):21, 1-17.
77. Huckauf, A., & Nazir, T. A. (2007). How odgcrnwi becomes crowding: Stimulus-specific learning reduces crowding. *Journal of Vision*, 7, 1-12.
78. <http://www.bestpractice.bmj.com/best-practice/monograph/1162/basics/epidemiology.html>
79. Wiesel, T. N., & Hubel, D. H. (1963). Single cell responses in the striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. *Journal of Neurophysiology*, 26, 1003-1017.
80. Kutschke, P. (2009) Amblyopia-Diagnosis and Treatment; *The Journal of the American Society of Ophthalmic Registered Nurses*, April-June 2009, Vol XXXIV n°2
81. Bradley, A., & Freeman, R. D. (1981). Contrast sensitivity in anisometric amblyopia. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 21, 467-476.
82. Hess, R. F., & Jacobs, R. J. (1979). A preliminary report of acuity and contour interactions across the amblyope's visual field. *Vision Research*, 19, 1403-1408.
83. Levi, D. M., & Klein, S. (1982a). Differences in vernier discrimination for grating between strabismic and anisometric amblyopes. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 23, 398-407.

84. McKee, S. P., Levi, D. M., & Movshon, J. A. (2003). The pattern of visual deficits in amblyopia. *Journal of Vision*, 3, 380-405.
85. Bedell, H. E., & Flom, M. C. (1983). Normal and abnormal space perception. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 60, 426-435.
86. Gold, J. I., & Shadlen, M. N. (2001). Neural computation that underlie decisions about sensory stimuli. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 10-16.
87. Gold, J. I., & Shadlen, M. N. (2007). The neural basis of decision making. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 535-574.
88. Heekeren, H. R., Marrett, S., & Ungerleider, L. G. (2008). The neural systems that mediate human perceptual decision making. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 467-479.
89. Farzin, F., & Norcia, A. M. (2011). Impaired visual decision-making in individuals with amblyopia. *Journal of Vision*, 11(14):6, 1-10,
90. Levi, D. M., Hariharan, S., & Klein, S. A. (2002c). Suppressive and facilitatory interactions in amblyopic vision. *Vision Research*, 42, 1379-1394.
91. Zhang, B., Stevenson, S., Cheng, H., Laron, M., Kumar, G., Tong, J., & Chino, Y. M. (2008). Effects of fixation instability on multifocal VEP (mfVEP) responses in amblyopes. *Journal of Vision*, 8(3):16, 1-14
92. Westall, C. A., & Aslin, R. N. (1984). Fixational eye movements and autokinesis in amblyopes. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 4, 333-337.
93. Popple, A. V., Levi, D. M. (2000). Amblyopes see true alignment where normal observers see illusory tilt. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 97(21), 11167-11672
94. Levi D. M., Klein S. A., Hariharan S. (2002). Suppressive and facilitatory spatial interactions in foveal vision: Foveal crowding is simple contrast masking. *Journal of Vision*, 2(2), 140-166
95. Harris J. M., Willis A. (2001). A binocular site for contrast-modulated masking. *Vision Research*, 41, 873-881
96. Wong, E. H., & Levi, D. M. Second-order spatial summation in amblyopia. *Vision Research*, in press, doi:10.1016/j.visres. 2005.05.020.
97. Sengpiel, F., & Blakemore, C. (1996). The neural basis of suppression and amblyopia in strabismus. *Eye*, 10, 250-258.
98. Huang, P.-C., Kingdom, F. A. A., & Hess, R. F. (2006) Only two phase mechanisms, Tcosine, in human vision. *Vision Research*, 46, 2069-2081.
99. Kiorpes, L., Kiper, D. C., O'Keefe, L. P., Cavanaugh, J. R., & Movshon, J. A. (1998). Neuronal correlates of amblyopia in the visual cortex of macaque monkeys with experimental strabismus and anisometropia. *Journal of Neuroscience*, 18, 6411-6424.
100. Kiorpes, L., & Movshon, S. P. (2003). Neural limitations on visual development in primates. In L. M. Chalupa & J. S. Werner (Eds.), *The visual neurosciences*. Cambridge: MIT Press.

101. Hess, R. F., & Demanins, R. (1998). Contour integration in anisometric amblyopia. *Vision Research*, 38, 889-894.
102. Levi, D.M., Li, R.W., Klein, S.A. (2005). "Phase Capture" in amblyopia: The influence function for sampled shapes. *Vision Research* 45 (2005),1793-1805
103. Levi, D. M., & Klein, S. A. (2003). Noise provides some new signals about the spatial vision of amblyopes. *Journal of Neuroscience*, 23, 2522-2526.
104. Holopigian, K., Blake, R., & Greenwald, M. J. (1986). Selective losses in binocular vision in anisometric amblyopes. *Vision Research* 26, 621-630.
105. Polat, U., Sagi, D., & Norcia, A. M. (1997). Abnormal long-range spatial interactions in amblyopia. *Vision Research*, 37, 737-744.
106. Bonnef, Y. S., Sagi, D., & Polat, U. (2004). Local and non-local deficits in amblyopia: Acuity and spatial interactions. *Vision Research*, 44, 3099-3110.
107. Bonnef, Y. S., Sagi, D., & Polat, U. (2007). Spatial and temporal crowding in amblyopia. *Vision Research*, 47, 1950-1962.
108. Ellefberg D., Hess R. F., Arsenault A. S.(2002).Lateral interactions in amblyopia.*Vision Research*,42,2471-2478
109. Hess, R. F., Dakin, S. C., Tewfik, M., & Brown, B. (2001). Contour interaction in amblyopia: Scale selection. *Vision Research*, 41, 2285-2296.
110. Liu 2004 Perceptual salience of global structures and the crowding effect in amblyopia. *Clinical Investigation*,February, 566-570