Sonia Maria Cipriani Fersura Moreira

**DESENVOLVIMENTO DA SENSIBILIDADE AO
CONTRASTE DE LUMINÂNCIA ESPACIAL E
TEMPORAL**

São Paulo

2010

Sonia Maria Cipriani Fersura Moreira
Tese de Mestrado

Sonia Maria Cipriani Fersura Moreira

**Desenvolvimento da Sensibilidade ao Contraste de
Luminância Espacial e Temporal**

Dissertação apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Psicologia, área de concentração: Psicologia Experimental. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Fernandes da Costa.

São Paulo

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na publicação
Biblioteca Dante Moreira Leite
Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo

Moreira, Sonia Maria Cipriani Fersura.

Desenvolvimento da sensibilidade ao contraste de luminância espacial e temporal / Sonia Maria Cipriani Fersura Moreira; orientador Marcelo Fernandes da Costa. -- São Paulo, 2010.

108 f.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Psicologia. Área de Concentração: Psicologia Experimental) – Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo.

1. Visão 2. Psicofísica 3. Sensibilidade de contraste visual I. Título.

BF241

Sonia Maria Cipriani Fersura Moreira

**Desenvolvimento da Sensibilidade ao Contraste de
Luminância Espacial e Temporal**

Dissertação apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Psicologia, área de concentração Psicologia Experimental, para a comissão formada pelos seguintes professores:

Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Fernandes da Costa
Instituto de Psicologia, USP

Examinadores:

Profª Drª Dora Fix Ventura
Instituto de Psicologia, USP

Prof Dr Bruno Duarte Gomes
Núcleo de Medicina Tropical, UFPA

Dissertação defendida e aprovada em: ____/____/____

Sonia Maria Cipriani Fersura Moreira
Tese de Mestrado

Ao João, minha inspiração de vida

À Bia, minha força e alegria de viver

Ao Beto, por me ajudar a trilhar este caminho

À mamãe que me deu a vida e me ensinou a amar

Ao papai que acreditou no meu amor pelos estudos

Agradecimentos:

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Fernandes da Costa, pela constante paciência, auxílio, confiança e carinho.

Ao amigo Marcelo, por me ajudar a sair do “fundo do poço”. Jamais vou me esquecer do dia que nos reencontramos e você me disse: “- Deixa eu te orientar Vêia!”

À Profª Drª Dora Fix Ventura, por ter me aceitado em seu laboratório, pelo auxílio em todo o meu percurso, pela grande contribuição e pelo contagiante amor à pesquisa.

Ao Prof. Dr. Bruno Duarte Gomes pelo incentivo e contribuição no trabalho.

Ao Prof. Russ, pela sua amizade (“my best friend”) e por sua contribuição .

À Ritinha, pela sua paciência, amizade e pelas tantas vezes que abriu mão de sua privacidade para que eu pudesse ser auxiliada.

Ao meu irmão pelo empurrão inicial, pelas broncas e carinho de um pai.

À minha irmã, por estar sempre por perto.

Ao meu tio Nadir e família que me deram preciosos conselhos e o exemplo da perseverança e da alegria mesmo nos momentos difíceis.

À Dani, minha incansável amiga tipo brisa.

À Mirella B., Ana Laura , Elaine, Rosani e Emília pelo carinho, amizade e contribuição nesse trabalho.

Ao André e Gabi que insistiram e persistiram para eu estar aqui!

A todos meus amigos do Laboratório, pelo carinho e compreensão.

A todos os voluntários e funcionários da USP que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao grande amigo Claudiel, que sempre me ajudou e me ouviu pacientemente.

Ao Trailler da Tia, pela amizade, carinho e pelos deliciosos pratos.

À Sandra pela amizade e terapia ao ar livre.

À CNPq pelo apoio financeiro.

Apoio Financeiro

Bolsa de Mestrado CNPQ # 135063/2008-6

Resumo

Moreira, SMC Desenvolvimento da sensibilidade ao contraste de luminância espacial e temporal. Dissertação de Mestrado. Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

Objetivo: Avaliar a Função de Sensibilidade ao Contraste de Luminância Espacial e Temporal, estudar o desenvolvimento destas funções, a contribuição das vias de processamento paralelo para as funções de Sensibilidade ao Contraste e seu respectivo desenvolvimento e, por fim, determinar valores normativos destas funções visando uma aplicabilidade clínica. **Método** A avaliação psicofísica de sensibilidade ao contraste de luminância espacial e temporal foi realizada em 112 sujeitos divididos em três grupos: Grupo I (idade média = $9,14 \pm 2,7$ anos), Grupo II (idade média = $23,7 \pm 3,4$ anos) e Grupo III (idade média = $41,8 \pm 5,5$ anos) com o programa PSYCHO for Windows Versão 2.36 (Cambridge Research Systems, CRS-Ltd, UK) acoplado a um microcomputador PC XTC -600. Os estímulos foram apresentados em um monitor Sony Triniton de 19 polegadas GFD420 (Sony Corporation, USA) com resolução espacial de 800X600 e resolução temporal de 69 Hz. Os estímulos eram comandados pela placa gráfica VSG 2/4 (Cambridge Research Systems, CRS-Ltd, UK). **Resultados** A avaliação psicofísica para a sensibilidade ao contraste espacial e temporal mostraram que esta função já está desenvolvida e em pleno funcionamento em crianças (6 anos) ocorrendo um declínio para as frequências espaciais de 2,0cpg; 8,3cpg e 14,5cpg para os grupos II e III. Para a frequência temporal de 2,5Hz o declínio ocorre nos Grupos II e III e para a frequência temporal de 5,0 Hz nas idades mais avançadas (GIII). Para o estudo da contribuição das vias de processamento paralelo (magnocelular e parvocelular) podemos notar uma maior sensibilidade ao contraste para decremento de luz do que para incremento de luz, porém não foi possível determinar a real contribuição dessas vias para a função de sensibilidade ao contraste. **Conclusão** Avaliamos com sucesso a Sensibilidade ao Contraste Espacial e Temporal para todas as faixas etárias e, assim, conseguimos ter acesso ao desenvolvimento desta função, entre as idades de 6 e 57 anos. Valores normativos para as tais funções foram estabelecidos por metodologia não-paramétrica. O estudo da contribuição das vias magnocelular e parvocelular não pode ser conclusivo, porém os achados mostraram uma maior sensibilidade para o decremento de luz o que corrobora com a literatura.

Palavras Chaves: Visão; Psicofísica; Sensibilidade ao Contraste Espacial, Sensibilidade ao Contraste Temporal

Abstract

Moreira, SMCF Development of spatial and temporal luminance contrast sensitivity. Master Dissertation. Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo 2010.

Purpose: To analyze the spatial and temporal luminance contrast sensitivity function, to study the development of these functions, the contribution of the parallel processing pathways and to determine the normative values of these functions to order a clinical applicability normative. **Methods** the psychophysical evaluation of the spatial and temporal luminance contrast sensitivity was performed in 112 subjects divided into three groups: Group I (mean age = 9.14 ± 2.7 years), Group II (mean age = 23.7 ± 3.4 years) and Group III (mean age = 41.8 ± 5.5 years) with the PSYCHO for Windows Version 2.36 (Cambridge Research Systems, CRS-Ltd, UK) connect to the microcomputer PC XTC -600. The stimuli was showed in a monitor Sony Triniton de 19 inches GFD420 (Sony Corporation, USA) with spatial resolution of the 800X600 and temporal resolution of the 69 Hz. The stimuli was made by the graphics card VSG 2/4 (Cambridge Research Systems, CRS-Ltd, UK). **Results** The psychophysics evaluation to spatial and temporal contrast sensitivity showed that this function is already developed and full operation in children (6 years old) with a decline to spatial frequencies of 2.0cpg; 8.3cpg and 14.5 cpg to the groups II and III. For the temporal frequency of 2.5Hz the decline occur to the groups II and III .and to the temporal frequency of 5.0 Hz the decline occur to the advantage ages(GIII). For the study of the parallel processing pathways (magnocellular e parvocellular) we can see bigger contrast sensitivity to decrement than to increment of light. It was not possible determine the real contribution of these pathways to the contrast sensitivity function. **Conclusion** We evaluated in a successful way the spatial and temporal contrast sensitivity to all age range and so we could access the development of this function between the ages from 6 to 57 years old. Normatives values to this function were established for non parametric methodology. The study of the contribution of the parvocellular and magnocellular pathways is not conclusive, but the results showed a bigger sensibility to decrement than to increment of light that was similar to the literature

Keywords: Vision; psychophysics; Spatial Contrast Sensitivity; Temporal Contrast Sensitivity;

Lista de Figuras

Figura 1: Exemplos de figuras utilizadas para a avaliação da acuidade visual. A tarefa baseia-se no reconhecimento do objeto pela posição da abertura presente nos estímulos apresentados. Em (a) C de Landout e em (b) E não literário (webvision. med.utah.edu/KallSpatial.html acessado e modificado em 03/05/2010).....3

Figura 2: Perfil de luminância de contraste de grades de onda senoidais numa razão de 1,0 e 0,5. Para o valor de contraste 1,0 a grade deve ter o máximo e mínimo valor de luminância disponível (webvision. med.utah.edu acessado e modificado em 26/04/2010).....5

Figura 3: Modelo do perfil de luminância que é dado pela soma ou multiplicação da iluminação pela refletância (www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/LGLI03b.jpg acessado e modificado em 26/04/2010).....6

Figura 4: Na figura o contraste aumenta logaritmicamente no sentido superior-inferior da figura. A frequência espacial aumenta da esquerda para a direita na figura. Os valores no eixo das abscissas, são valores aproximados de frequência espacial em ciclos por grau de ângulo visual a 40 cm de distância do observador. (http://neurovision.berkeley.edu/Demonstrations/VSOC/izumi/CSF- acessado e adaptado em 15/03/2010).....7

Figura 5: Exemplo de uma cena visual (face) com diferentes frequências espaciais filtradas. As imagens da esquerda apresentam frequências espaciais médias. As imagens do centro, frequências espaciais altas e nas imagens da frequências espaciais baixas (http://phineasgag.files.wordpress.com. Acessado e modificado em 19/07/2010).....9

Figura 6: Em (a) tabela de Pelli-Robson para avaliação da sensibilidade ao contraste espacial. Em (b) acima: tabela de acuidade visual com baixo contraste e abaixo, alto contraste. Em (c) representação de ambas as tabelas (a) e (b) e a representação da curva de sensibilidade ao contraste espacial de um indivíduo normal (www.bsrs.co.uk/Image15.gif acessado e modificado em 05/05/2010).....10

Figura 7: Representação de estímulos de contraste e testes da função visual. Em cima exemplos de baixo (à direita) e alto (à esquerda) contraste para uma mesma frequência espacial. Abaixo à esquerda, exemplo do teste de Snellen para medir a acuidade visual e à direita, um exemplo da variação do contraste, de máximo para mínimo (de baixo para cima) para várias frequências espaciais. (mindblog.dericbownds.net/2009_05_01_archive.html, acessado e modificado em 09/03/2010).....11

Figura 8: Barras pretas e brancas de diferentes frequências espaciais. No quadro à esquerda temos a representação de uma menor frequência do que no quadro à direita, mantendo-se constante o contraste (. [www.adaptall-2.com/article/resolution and contrast html](http://www.adaptall-2.com/article/resolution_and_contrast.html)., acessado em 25/01/2010).....12

Figura 9: À esquerda temos a representação de uma grade de onda quadrada de frequência espacial média À direita temos a representação de uma grade de onda senoidal de frequência espacial média . Abaixo o perfil de luminância correspondente de cada onda. (adaptado e modificado de <http://www.ututoronto.ca> em 12/03/2010).....13

Figura 10: Um exemplo da Síntese de Fourier na construção de uma onda quadrada, iniciando de cima para baixo. Do lado esquerdo, temos a onda senoidal fundamental (F), abaixo de F estão representadas as ondas senoidais harmônicas de F (3F, 5F, 7F). Do lado direito da figura mostramos a aparência das grades e a somatória feita para cada uma delas para que se construa a onda quadrada (Acessada e adaptada de www.bores.com/courses/intro/freq/3_ft.htm em 19/03/2010).....14

Figura 11: Uma onda senoidal espacial de grades e seu perfil de luminância. Em cima: onda senoidal de frequência espacial alta e contraste alto. No meio onda senoidal de frequência espacial alta e contraste médio Em baixo, onda senoidal de frequência espacial baixa e contraste alto. (Acessado e adaptado de www.bilkent.edu.tr/~eozgen/sf_research.html em 11/05/2010).....15

Figura12: Representação de frequência espacial, medida pelo numero de ciclos por grau. Figura da direita, dois ciclos por grau de um ângulo visual. Figura da esquerda um ciclo por grau de um ângulo visual (adaptado de webvision. umh.es/Webvision/KallSpatial.html, acessado em 27/01/2010).....16

Figura13: Representação da amplitude (contraste) para uma dada frequência espacial. Em A temos uma onda senoidal que apresenta uma menor amplitude (menos contraste) que a onda senoidal de mesma frequência espacial, fase e orientação apresentada em B (Rossing, 1990).....17

Figura 14: Representação de uma onda senoidal mostrando mesma frequência espacial, amplitude, porém fases diferentes. A onda da esquerda apresenta uma fase de 0° enquanto a onda da direita tem fase de 180° , a partir da referência dada pelo ponto 0 do eixo das ordenadas.....17

Figura15: Representação da Função de sensibilidade ao contraste espacial típica de humano. A flecha indica o ponto correspondente a acuidade visual (em cpv), onde o contraste é de 100%.(Adaptado de webvision.med.utah.edu/KallSpatial.htm, acessado em 11/05/2010).....18

Figura16: Representação gráfica do antagonismo espacial. Na figura à esquerda em cima, representação de uma célula ganglionar com campo receptivo de centro On e periferia Off, à baixo célula ganglionar de centro Off e periferia On, ambas em grades de frequências espaciais altas, onde os estímulos dessas grades provocam uma resposta baixa das células ganglionares..Na figura do meio, representação das mesmas células ganglionares, porém em grades de frequências espaciais médias, onde os estímulos dessas grades provocam uma resposta ótima das células ganglionares. À direita, grades de frequências espaciais baixas, para as mesmas células ganglionares, onde os estímulos dessas grades provocam uma resposta baixa das células ganglionares.20

Figura 17: Figura da função da sensibilidade ao contraste de luminância espacial. A forma muda de passa baixa, nas baixas luminâncias para passa-banda, nas altas luminâncias (Adaptado de webvision. med.utah.edu/KallSpatial.htm, acessado em 12/05/2010)21

Figura 18: À esquerda, função da sensibilidade ao contraste espacial (*FSCe*) composta por vários canais seletivos para frequência espacial. À direita *FSCe* após a adaptação para uma determinada frequência espacial, a *FSCe* é rebaixada para a frequência espacial que foi adaptada(www.pc.rhul.ac.uk.acessado e adaptado em

15/06/2010).....22

Figura19: Perfil de luminância para um estímulo cuja luminância é modulada senoidalmente através do tempo. L_{max} corresponde a luminância máxima, L_{min} corresponde a luminância mínima e $L_{média}$ a luminância média. A letra “A” refere-se a amplitude de modulação(Adaptado de Schwartz,2004).....24

Figura20: Sensibilidade ao Contraste para diferentes frequências temporais. A área sob a linha indica os valores de contraste que permitem a percepção do piscar e a área sobre a linha a região onde não se observa o piscar. Para os humanos, o pico de sensibilidade para esta função está localizado nas frequências médias-altas, entre 8 e 10 Hz. Nota-se a acuidade temporal, no ponto onde a linha toca o eixo das abscissas Adaptado de [webvision. med.utah.edu/KallSpatial.htm](http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.htm), acessado em 12/05/2010).....26

Figura21: Figura de como a latência da periferia do campo receptivo pode contribuir para queda nas frequências temporais baixas. Em A conexão de fotorreceptores(P) e células horizontais(H) para as células bipolares (BP) que compreende componentes de centro-periferia de um campo receptivo. B Respostas quando a relação de piscar é baixa. C efeito da resposta das células bipolares quando o piscar é rápido o suficiente que o atraso(d) do sinal da periferia, em comparação com a latencia do sinal do centro, é igual a meio ciclo. Os pontos ligados na vertical correspondem aos pares de pontos que são somados. (Adaptado de: Norton et al, 2202).....28

Figura 22 Grade espacial à esquerda com 100% de contraste, focado por uma lente óptica para determinar a função de transferência modular (MTF) da lente. À direita na figura, temos a imagem da grade espacial com redução do contraste (55%) (Schwiegerling, 2000).....29

Figura 23: Secção frontal do Corpo geniculado Lateral de um primata não humano. As camadas 1 e 2 correspondem as camadas ventrais onde se organizam as vias magnocelulares.Nas camadas de 3 a 6, tem-se as camadas dorsais do corpo geniculado lateral, onde estão organizadas as vias Parvocelulares. E as intercamadas correspondem às vias Koniocelular32

Figura 24: Representação das conexões feitas pelas células ganglionares da retina com as células bipolares e estas com os cones L e M ou S. No esquema é possível visualizar as células ganglionares que formam a via M (células ganglionares parasol), via P (células ganglionares anãs) e via K (células ganglionares biestratificadas pequena) (modificado de Lee, 2004).....33

Figura 25: Esquema ilustrativo da retina com as vias On e Off. O esquema mostra três tipos de células que contribuem para essas vias: Cones, células bipolares e as células ganglionares On e Off na camada plexiforme interna onde ocorrem as sinapses das células bipolares com as células ganglionares On e Off (webvision.med.utah.edu/imagens. Acessado e modificado em 19/03/2010).....35

Figura 26: Desenvolvimento da Sensibilidade ao Contraste Espacial, desde o primeiro ano de vida até a maturidade com as médias e os erros padrões de cada frequência espacial em cada idade (Adams & Courage, 2002. Modificado em 20/05/2010).....39

Figura 27: Média da sensibilidade ao Contraste (+/- 1 erro padrão) em função da frequência temporal para adultos e crianças (Adaptado de Ellemberg, 1999).....41

Figura 28: Relações básicas entre a pesquisa perceptual (Goldstein, 2001).....45

Figura 29: Microcomputador PC onde está instalado o programa Psycho for Windows. No monitor A, observamos a tela de experimentação. No monitor B, exemplo de estímulo utilizado para a medida de Sensibilidade ao Contraste de Luminância Espacial.....50

Figura 30: Monitor de vídeo do aparelho Psycho for Windows com apresentação do estímulo para sensibilidade ao contraste espacial, onde o padrão utilizado foi de ondas senoidais.....51

Figura 31: Monitor de vídeo do aparelho Psycho for Windows com apresentação do estímulo para sensibilidade ao contraste temporal, que consiste de um flicker de modulação senoidal preto e branco que contém a função Gabor. Abaixo seu perfil de luminância modulado senoidalmente através do tempo.....52

Figura 32: Teste do Xadrez.com estímulos gerados no Psycho for windows Na parte superior, o teste que avalia a via Magnocelular On (estímulo a esquerda) e Off(estímulo a direita). Na parte inferior teste que avalia a via Parvocelular On e Off (estímulo a esquerda e direita respectivamente).....53

Figura 33: Sujeito na sala de teste posicionado a 1metro de distância em relação ao monitor gerador do estímulo. Avaliação feita monocularmente com o uso de protetor ocular. No exemplo acima podemos perceber o estímulo utilizado na avaliação da sensibilidade ao contraste espacial, onde o estímulo são grades de ondas senoidais.....55

Figura 34: Tela com gráfico da sensibilidade ao contraste espacial.....57

Figura 35: Tela com gráfico da sensibilidade ao contraste temporal.....58

Figura 36: Resultados da mediana e percentil (25%-75%) dos grupos I, II e III para as frequências espaciais de 0,5 cpg, 2,0 cpg, 8,3 cpg e 14,5 cpg. Todos os Box representam o percentil 25%-75% . A linha horizontal dentro do Box refere-se à mediana. O * representa os sujeitos “outliers”. Não foram encontradas diferenças estatísticas entre os Grupos para a frequência espacial de 0,5 cpg.O Grupo I apresentou uma diferença estatística dos Grupos II e III para as frequências espaciais de 2,0cpg, 8,3cpg e 14,5 cpg.....60

Figura37: Resultado das medianas com os respectivos desvios padrões para as diferentes frequências espaciais (0,5; 2,0; 8,3 e 14,5 cpg). A curva mostra um pico para as frequências médias para os Grupos I e III. Apenas o Grupo III apresenta uma pequena queda para a frequência média (8,3 cpg).....61

Figura 38: Função de sensibilidade ao contraste espacial composta pela mediana para cada grupo nas frequências espaciais avaliadas. Nota-se a forma de banda de passagem para os três grupos (I II e III).....66

Figura 39: Resultados da mediana e percentil (25%-75%) dos grupos I, II e III para as frequências temporais de 2,5 Hz, 5,0 Hz, 10 Hz e 20 Hz. Todos os Box representam o percentil 25%-75% . A linha horizontal dentro do Box refere-se à mediana. O * representa os sujeitos “outliers“. Houve diferença estatística para as frequência temporal baixa (2,5Hz) do Grupo I em relação aos Grupos II; III. Para a frequência temporal de 5,0Hz, o GrupoIII mostrou-se diferente estatisticamente dos Grupos I e II.....64

Figura 40: Resultado das medianas com os respectivos desvios padrões para as diferentes frequências temporais (2,5; 5,0; 10 e 20 Hz). A curva mostra um pico para as frequências médias para os três grupos avaliados.....65

Figura 41: Função de sensibilidade ao contraste temporal composta pela mediana para cada grupo nas frequências temporais avaliadas. Nota-se a forma de banda de passagem para os três grupos (I II e III).....66

Figura 42: Resultados da mediana e percentil (25%-75%) dos grupos I, II e III para as frequências espaciais de 4,5cpg e 5cpg para o teste que avaliou a via parvocelular e magnocelular respectivamente. Todos os Box representam o percentil 25%-75%%. A linha horizontal dentro do Box refere-se à mediana. O * representa os sujeitos “outliers”. Não houve diferença estatística no teste para nenhum dos três grupos.....68

Figura 43: Resultado da mediana e desvio de sensibilidade ao contraste para o Teste do Xadrez. Tanto para o teste da via Parvocelular quanto da via Magnocelular apresentam uma melhor resposta para o subgrupo Off.69

Lista de Tabelas

Tabela 1 Valores descritivos do Grupo I de Sensibilidade ao Contraste Espacial	64
Tabela 2 Valores descritivos do Grupo II de Sensibilidade ao Contraste Espacial.....	64
Tabela 3 Valores descritivos do Grupo III de Sensibilidade ao Contraste Espacial	64
Tabela 4 Valores descritivos do Grupo I de Sensibilidade ao Contraste Temporal	70
Tabela 5 Valores descritivos do Grupo II de Sensibilidade ao Contraste Temporal.....	70
Tabela 6 Valores descritivos do Grupo III de Sensibilidade ao Contraste Temporal	70
Tabela 7 Valores descritivos do Teste do Xadrez para os três grupos	73

Lista de abreviaturas

C-	contraste
CGL-	Corpo Geniculado Lateral
Cpg	ciclos por grau
dB-	decibéis
FSCe-	Função de Sensibilidade ao Contraste Espacial
FSCt-	Função de Sensibilidade ao Contraste Temporal
FCF-	Frequência Crítica de Fusão
Hz-	Hertz
L-	luminância
Lf-	luminância final
Lmax-	luminância máxima
Lmin-	luminância mínima
M-	Magnocelular
MTF-	Função de Transferência de Modulação
NTF-	Função de Transferência Neural
OTF-	Função de Transferência Óptica
P-	Parvocelular
PVE-	Potencial Visual Provocado
K-	Koniocelular
SC-	Sensibilidade ao Contraste

Sumário

Sumário	1
Introdução	2
Sensibilidade ao Contraste	2
Sensibilidade ao Contraste Espacial (SCe)	12
Sensibilidade ao Contraste Temporal (SCt)	23
Função de Transferência de Modulação (MTF)	29
Processamento Paralelo do Sistema Visual	31
Desenvolvimento da Sensibilidade ao Contraste	37
Valores de Normalidade	43
Psicofísica	44
Métodos Psicofísicos Clássicos	46
Objetivos	48
Material e Métodos	49
Sujeitos	49
Equipamento	49
Estímulo	50
Procedimento	54
Análise Estatística	58
Resultados	59
Discussão	72
Sensibilidade ao Contraste Espacial	72
Sensibilidade ao Contraste Temporal	75
Avaliação das Vias Visuais	76
Limites de Normalidade	77
Conclusão	78
Anexos	93

Introdução

Sensibilidade ao Contraste

“O objetivo primordial da visão humana é a localização de objetos e a sensibilidade ao contraste é o parâmetro fundamental que quantifica a capacidade humana de ver” (Souza, Gomes, Silva, & Silveira, 2009).

A habilidade humana de perceber os detalhes de uma cena visual é determinada pelo tamanho relativo e pelo contraste presente nesses detalhes (Campbell & Robson, 1968a).

Um sistema sensorial torna-se mais sensível quanto maior for sua capacidade de perceber as diferenças em uma cena visual, ou seja, de discriminar contraste. Essa capacidade de responder ao contraste visual é de extrema importância para muitas atividades humanas incluindo a leitura, identificação de bordas, reconhecimento de objetos e visão de formas (Kwon, Legge, Fang, Cheong, & He, 2009). O contraste pode ser determinado pela diferença nas diversas dimensões visuais, como cor, textura e brilho, de dois objetos de uma mesma cena ou superfície, analisando-se as diferenças de brilhos entre áreas adjacentes (Cornsweet, 1970). O contraste é um parâmetro importante na avaliação da visão e é uma medida que se refere à quantidade relativa de luz que vem de diferentes partes de uma cena complexa.

Na prática clínica, utiliza-se normalmente para a avaliação da capacidade do sistema visual os testes de acuidade visual. A acuidade visual pode ser definida como a capacidade espacial do sistema visual em resolver detalhes. Vários fatores como difração, aberração óptica, tamanho pupilar, dispersão, função de transferência de modulação, tamanho dos fotorreceptores e o ruído neural limitam essa capacidade do sistema visual (Schwiegerling, 2000). Para a medida da acuidade visual, utiliza-se um

padrão espacial e de contraste fixo, geralmente, figuras pretas em um fundo branco (figura 1). Esses caracteres são chamados de optotipos. Eles são apresentados ao sujeito e à medida que esses optotipos são reconhecidos, de maneira correta, o examinador apresenta optotipos de tamanhos menores, até o momento em que os detalhes dos mesmos não sejam mais discrimináveis pelo sujeito e, portanto, a letra não é mais identificável. Por esta metodologia psicofísica (Método dos Limites), a acuidade visual é dada pelo menor optotipo que o sujeito consegue discriminar.

Figura 1: Exemplos de figuras utilizadas para a avaliação da acuidade visual. A tarefa baseia-se no reconhecimento do objeto pela posição da abertura presente nos estímulos apresentados. Em (a) C de Landout e em (b) E não literário (webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html acessado e modificado em 03/05/2010)

Entretanto, os objetos e seus arredores que constituem as cenas visuais, apresentam uma gama variada de contraste e, na verdade, apenas um número muito restrito de estímulos está próximo do contraste máximo. Assim, a medida da sensibilidade ao contraste fornece uma avaliação da função visual espacial humana mais completa do que a acuidade visual (Amesbury & Schallhorn, 2003).

O contraste de luminância pode ser calculado baseado na comparação entre as medidas das luminâncias das superfícies utilizadas para comparação. Para uma área em um campo homogêneo utiliza-se o Contraste de Weber:

$$C_w = (L - L_f) / L_f$$

onde L é a luminância da área a ser diferenciada e L_f é a luminância de fundo.

No entanto, a forma mais usual de avaliação do contraste de luminância é pela utilização de um padrão simples de grades de onda senoidal. Quando utilizamos para avaliar o contraste de um padrão de ondas que variam senoidalmente, ele é expresso pela fórmula de Michelson:

$$C = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$$

onde o contraste é chamado de *Contraste de Rayleigh* ou *Modulação* ou ainda *Contraste de Michelson* (Shapley, Kaplan, & Purpura, 1993). A luminância máxima é indicada por L_{max} e a luminância mínima por L_{min} . Os valores de contraste variam em um intervalo de 0,0 a 1,0 (figura 2).

Figura 2: Perfil de luminância de contraste de grades de onda senoidais numa razão de 1,0 e 0,5. Para o valor de contraste 1,0 a grade deve ter o máximo e mínimo valor de luminância disponível (webvision. med.utah.edu acessado e modificado em 26/04/2010).

Para um entendimento mais completo da função que iremos medir, é importante que definamos o que é luminância. Luminância é uma medida fotométrica de luz por unidade de área (frequentemente dada em candelas/m²). As variáveis que a definem, são apresentadas na equação abaixo: a iluminância, unidade fotométrica que determina a quantidade de luz que toca uma superfície; e a refletância, que é a porcentagem de luz refletida pela superfície (figura 3) (Coren, Ward, & Enns, 2004a).

$$\text{Luminância} = \text{Iluminância} \times \text{Refletância} / 100$$

Figura 3: Modelo do perfil de luminância que é dado pela somação ou multiplicação da iluminação pela refletância (www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/LGLI03b.jpg acessado e modificado em 26/04/2010)

Quando o contraste em um padrão de listras é igual a zero, a luminância máxima e a mínima são iguais, e, portanto não existem diferenças (o padrão de listras não existe fisicamente). À medida que o contraste aumenta de maneira gradual, a diferença entre as áreas adjacentes vai aumentando e o padrão de listras surge e, com o aumento contínuo do contraste, este começa a ser notado podendo-se, portanto, determinar o limiar de contraste. Este valor de contraste limiar é a menor diferença perceptual de luminância entre duas áreas justapostas. Importante lembrar que esta capacidade do sistema visual pode ocorrer tanto para padrões que variam no espaço quanto para padrões que variam no tempo.

O valor de contraste requerido pelo sistema visual para que atinja um limiar pode ser expresso em uma escala de decibéis (*dB*) ou em porcentagem (%) de contraste.

Para a conversão dos valores de decibéis em porcentagem de Contraste se utiliza a seguinte fórmula:

$$C(\%) = (1 - 10^{-dB/10}) \times 100$$

Onde dB é o valor de contraste em decibel.

Nota-se na figura abaixo (figura 4) que os valores de contraste vão aumentando na direção superior-inferior e as frequências espaciais aumentam da esquerda para a direita.

Figura 4: Na figura o contraste aumenta logaritmicamente no sentido superior-inferior da figura. A frequência espacial aumenta da esquerda para a direita na figura. Os valores no eixo das abscissas são valores aproximados de frequência espacial em ciclos por grau de ângulo visual a 40 cm de distância do observador. (<http://neurovision.berkeley.edu/Demonstrations/VSOC/izumi/CSF-> acessado e adaptado em 15/03/2010)

Esse padrão de estímulos em forma de grades (listras) de onda senoidal simples é o mais comumente utilizado para avaliar e quantificar quanto nosso sistema visual é sensível ao contraste, uma vez que esse padrão pode ser ajustado para várias frequências.

A sensibilidade ao contraste (*SC*) é uma função visual de grande importância do sistema visual humano e de muitos animais, pois é ela que possibilita a identificação de objetos (Shapley et al., 1993). A *SC* é medida utilizando-se de grades de ondas senoidais em diferentes frequências e contrastes. Quando assim medida, a *SC* é definida como a recíproca da quantidade mínima de contraste necessário para detectar uma grade de onda senoidal em uma determinada frequência, ou seja, ela é inversamente proporcional ao limiar do contraste (Cornsweet, 1970).

Sensibilidade= 1/ Contraste Limiar

Esta inversão é intuitiva e diz que, o sistema visual apresenta uma alta sensibilidade quando um padrão necessita de pouco contraste para que seja detectado.

A medida de sensibilidade ao contraste visa determinar o valor mínimo de contraste para se detectar detalhes. Estas informações são particularmente importantes, uma vez que as cenas visuais (figura 5) apresentam-se com um grande número de detalhes de diferentes frequências espaciais, fase (Bex & Makous, 2002), frequência temporal (Dong & Atick, 1995), iluminação e orientação (Balboa & Grzywacz, 2000).

Figura 5: Exemplo de uma cena visual (face) com diferentes frequências espaciais filtradas. As imagens da esquerda apresentam frequências espaciais médias. As imagens do centro, frequências espaciais altas e nas imagens da frequências espaciais baixas (<http://phineasgale.files.wordpress.com>. Acessado e modificado em 19/07/2010).

A sensibilidade ao contraste de luminância pode ser avaliada para diferentes padrões os quais podem ser descritos como espaciais e temporais. Dessa forma podemos dizer que o sistema visual humano tem a capacidade de detectar dois tipos de contraste, um deles mede a diferença entre duas regiões próximas do campo visual (contraste de luminância espacial), ou proveniente de uma mesma região, o outro compara contrastes em dois momentos sucessivos (contraste de luminância temporal).

O resultado desta avaliação da sensibilidade ao contraste para várias frequências descreve uma função de sensibilidade ao contraste (Campbell & Robson, 1968a; Santos & Simas, 2001; Souza et al., 2009).

A primeira medida da função de sensibilidade ao contraste em humanos foi relatada por Schade em 1956. Ele interpretou seus achados em termos de função de transferência de modulação de um sistema óptico de difração limitada, conjuntamente com os efeitos das interações espaciais que ocorrem na retina. Posteriormente, passou-

se a medir a função de transferência de modulação do meio óptico de maneira direta e a função da sensibilidade ao contraste do sistema visual passou a ser determinado de maneira independente (Campbell & Robson, 1968a).

A informação da acuidade visual, espacial e temporal, está contemplada na medida de sensibilidade representada como a frequência limite do sistema determinada somente na situação de máximo contraste (figura 6) (Boothe, Williams, Kiorpes, & Teller, 1980; Silveira, Picancodiniz, & Oswaldocruz, 1982).

Figura 6: Em (a) tabela de Pelli-Robson para avaliação da sensibilidade ao contraste espacial. Em (b) acima: tabela de acuidade visual com baixo contraste e abaixo, alto contraste. Em (c) representação de ambas as tabelas (a) e (b) e a representação da curva de sensibilidade ao contraste espacial de um indivíduo normal (www.bsrs.co.uk/Image15.gif acessado e modificado em 05/05/2010).

Assim, a acuidade visual corresponde ao corte na função de sensibilidade ao contraste espacial e temporal, no eixo das frequências, e corresponde apenas a um ponto na função, de um sistema visual com habilidade em detectar diferentes luminâncias espaciais (figura 7). (De Valois & Morgan, 1974; Rovamo, Kankaanpää, & Kukkonen, 1999)

Figura7: Representação de estímulos de contraste e testes da função visual. Em cima exemplos de baixo (à direita) e alto (à esquerda) contraste para uma mesma frequência espacial. Abaixo à esquerda, exemplo do teste de Snellen para medir a acuidade visual e à direita, um exemplo da variação do contraste, de máximo para mínimo (de baixo para cima) para várias frequências espaciais. (mindblog.dericbownds.net/2009_05_01_archive.html, acessado e modificado em 09/03/2010)

O conhecimento da função da sensibilidade ao contraste espacial e temporal, bem como o desenvolvimento desta função desde o nascimento se apresenta como um

elemento básico para o entendimento das teorias que estudam o desenvolvimento da visão de formas (Banks & Salapatek, 1976). O estudo da função da sensibilidade ao contraste é também útil para avaliar perdas causadas por diversas desordens oculares, visuais e neurais como a Retinopatia Diabética (Gualtieri, 2009), Ambliopia (Harvey, 2009), Doença de Parkinson (Castelo-Branco et al., 2009), Neuropatia Óptica Hereditária de Leber (Gualtieri et al., 2008; Ventura et al., 2005), Distrofia Muscular de Duchenne (Costa, 2004), catarata ((Mantjarvi & Tuppurainen, 1999; Dickson et al., 1996)), além do conhecimento do desenvolvimento e de alterações que ocorrem em crianças prematuras (Oliveira, Costa, de Souza, & Ventura, 2004).

Sensibilidade ao Contraste Espacial (SCe)

Para avaliar a sensibilidade ao contraste espacial habitualmente utiliza-se um padrão simples de estímulo, com listras verticais ou horizontais que irão se alternar em listras brancas e pretas (figura 8).

Figura 8: Barras pretas e brancas de diferentes frequências espaciais. No quadro à esquerda temos a representação de uma menor frequência do que no quadro à direita, mantendo-se constante o contraste (. [www.adaptall-2.com/article/resolution and contrast html](http://www.adaptall-2.com/article/resolution%20and%20contrast.html)., acessado em 25/01/2010)

Esse padrão de listras descreve uma grade de onda que, para estudos visuais, habitualmente se utilizam duas formas: quadrada e senoidal (figura 9). Na onda quadrada ocorre uma mudança abrupta entre as barras claras e escuras enquanto na grade senoidal a transição entre os picos e vales da onda é gradual, tornando-se suas bordas indistinguíveis (Amesbury & Schallhorn, 2003).

Figura 9: À esquerda temos a representação de uma grade de onda quadrada de frequência espacial média. À direita temos a representação de uma grade de onda senoidal de frequência espacial média. Abaixo o perfil de luminância correspondente de cada onda. (adaptado e modificado de <http://www.uturonto.ca> em 12/03/2010).

Foi o matemático Fourier, que de acordo com o seu Teorema (Teorema de Fourier), demonstrou que padrões complexos que variam no espaço e /ou no tempo podem ser decompostos ou produzidos por meio de uma somatória de harmônicos de ondas senoidais (Campbell & Robson, 1968a). A teoria de Fourier começou a ser aplicada para descrever a transmissão da informação espacial no sistema visual, depois de estudos feitos no córtex visual de gatos e macacos, onde foram encontrados

neurônios seletivamente sensíveis a frequências espaciais altas e posteriormente por métodos psicofísicos, foi observada também a presença de canais de frequências espaciais no sistema visual de humanos (Maffei & Fiorentini, 1972).

A análise de Fourier permite a decomposição de um padrão complexo em uma somatória de múltiplas frequências de diferentes contrastes de um estímulo. A Síntese de Fourier permite a combinação de ondas senoidais puras para criar um padrão complexo. Assim, uma onda quadrada é construída pela combinação de harmônicos ímpares de ondas senoidais. A primeira onda senoidal será de alto contraste, chamada de fundamental(F), que irá estabelecer a frequência espacial da onda quadrada, tendo a mesma luminância média (L_m) da onda senoidal Harmônicos ímpares múltiplos ($3F$, $5F$, etc.) adicionados à frequência espacial, produzem uma onda quadrada. A amplitude da onda quadrada será dada pela amplitude da fundamental dividida pela harmônica ($1/3$, $1/5$, etc.). Quanto mais harmônicas forem adicionadas, a somatória mais se aproximará de uma onda quadrada (figura 10) (Norton, Corliss, & Bailey, 2002a).

Figura 10: Um exemplo da Síntese de Fourier na construção de uma onda quadrada, iniciando de cima para baixo. Do lado esquerdo, temos a onda senoidal fundamental (F), abaixo de F estão representadas as ondas senoidais harmônicas de F ($3F$, $5F$, $7F$). Do lado direito da figura mostramos a aparência das grades e a somatória feita para cada uma delas para que se construa a onda quadrada (Acessada e adaptada de www.bores.com/courses/intro/freq/3_ft.htm em 19/03/2010).

Uma grade de onda senoidal é definida pela modulação tanto da amplitude do contraste quanto pela amplitude da frequência espacial. Para descrever um padrão de uma grade de onda senoidal, é necessário especificar a frequência espacial, contraste, fase e orientação (figura 11).

Figura 11: Uma onda senoidal espacial de grades e seu perfil de luminância. Em cima: onda senoidal de frequência espacial alta e contraste alto. No meio, onda senoidal de frequência espacial alta e contraste médio. Em baixo, onda senoidal de frequência espacial baixa e contraste alto. (Acessado e adaptado de www.bilkent.edu.tr/~eozgen/sf_research.htm em 11/05/2010)

A frequência refere-se à quantidade de alternância ou ciclos no padrão de grades, e normalmente é dada em ciclos por grau de um ângulo visual (cpg), ou seja, a variação entre um pico de luminância máximo e um pico de luminância mínimo (vale) corresponde a um ciclo (figura 12). As frequências podem ser altas, médias ou baixas, dependendo da quantidade de listras, quando o padrão utilizado for o de listras. A frequência pode variar, mantendo-se constante o contraste e vice-versa, (vide figura 2).

Figura12: Representação de frequência espacial, medida pelo numero de ciclos por grau. Figura da direita, dois ciclos por grau de um ângulo visual. Figura da esquerda um ciclo por grau de um ângulo visual (adaptado de webvision.umh.es/Webvision/KallSpatial.html, acessado em 27/01/2010).

A amplitude de uma onda é medida pela distância entre os vales e os picos.

(figura 13)

Figura13: Representação da amplitude (contraste) para uma dada frequência espacial. Em A, temos uma onda senoidal que apresenta uma menor amplitude (menos contraste) que a onda senoidal de mesma frequência espacial, fase e orientação apresentada em B (Rossing, 1990).

A fase refere-se à posição de uma grade de ondas senoidais, em relação à outra grade de ondas senoidais, assim, duas grades de ondas estão em fase, quando seus picos e vales estão alinhados. Os mesmos estarão fora de fase quando o pico de uma onda coincidir com o vale da outra.

Figura 14: Representação de uma onda senoidal mostrando mesma frequência espacial, amplitude, porém fases diferentes. A onda da esquerda apresenta uma fase de 0° enquanto a onda da direita tem fase de 180° , a partir da referência dada pelo ponto 0 do eixo das ordenadas (Modificado de Rossing, 1990).

A orientação diz respeito ao ângulo exercido por uma grade em relação a uma referência (Shapley et al., 1993).

A função de sensibilidade ao contraste espacial ($FSCe$) é obtida em diferentes frequências espaciais, variando-se o contraste para cada uma das frequências espaciais testadas. Determina assim o contraste limiar para cada frequência. Essa relação dada entre o limiar de contraste e a frequência espacial determinam a Função de sensibilidade ao contraste espacial ($FSCe$) (figura 15). Determinar a função da sensibilidade ao contraste espacial nos ajuda a entender como o sistema visual (óptico, retina e cérebro) responde para as diferentes frequências espaciais (Santos & Simas, 2001; Schwartz, 2004).

Figura 15: Representação da Função de sensibilidade ao contraste espacial típica de humano. A flecha indica o ponto correspondente a acuidade visual (em cpg), onde o contraste é de 100%. (Adaptado de webvision.med.utah.edu/KallSpatial.htm, acessado em 11/05/2010).

O sistema visual humano é mais sensível para algumas frequências espaciais do que para outras (Campbell, 1974). A $FSCe$ é uma função que apresenta um pico de sensibilidade em torno de 3 ciclos/grau. Em indivíduos normais a função de sensibilidade ao contraste descreve uma banda de passagem, tendo seu pico para valores

de frequência espacial média com quedas para altas e baixas frequências. A explicação para a redução em baixas frequências está na característica concêntrica dos campos receptivos retinianos de células ganglionares e das células do NGL e córtex visual primário. Os campos receptivos das células ganglionares típicas consistem de uma região central que respondem a estímulos luminosos com excitação ou inibição, e de uma região periférica que respondem com sinal oposto ao da região central (antagonismo espacial) (Donner & Hemila, 1996). Como nas baixas frequências espaciais as barras claras e as escuras são bem largas, uma dessas barras irão estimular simultaneamente tanto o centro quanto a periferia de células ganglionares típicas, diminuindo a resposta ao estímulo (figura 16). A queda para as frequências espaciais altas, representa o limite do sistema visual em resolver detalhes, mesmo com 100% de contraste, esse valor é por volta de 60cpg(seta no eixo X da figura 15). Essa queda nas frequências espaciais altas é dada tanto pelo tamanho dos fotorreceptores, que limita o tamanho mínimo de uma barra à largura do fotorreceptor, bem como da limitação óptica do próprio sistema visual, ocorrendo uma perda de resolução, já que o contraste vai diminuindo à medida que a frequência espacial vai aumentando – ver mais detalhes no item Função de Transferência de Modulação (Rovano, Kankaanpää, & Kukkonen, 1999; Schade, 1956).

Figura16: Representação gráfica do antagonismo espacial. Na figura à esquerda em cima, representação de uma célula ganglionar com campo receptivo de centro On e periferia Off, à baixo célula ganglionar de centro Off e periferia On, ambas em grades de frequências espaciais altas, onde os estímulos dessas grades provocam uma resposta baixa das células ganglionares..Na figura do meio, representação das mesmas células ganglionares, porém em grades de frequências espaciais médias, onde os estímulos dessas grades provocam uma resposta ótima das células ganglionares. À direita, grades de frequências espaciais baixas, para as mesmas células ganglionares, onde os estímulos dessas grades provocam uma resposta baixa das células ganglionares.

A faixa de frequências espaciais sensíveis ao olho humano, estende-se aproximadamente de 0,1 a 60 cpg (ciclos por grau). Nos níveis de baixa luminância, o pico da sensibilidade ao contraste ocorre entre as frequências espaciais de 1 e 2 ciclos por grau (figura 17). Nos níveis de luminância mais altos, a sensibilidade ao contraste aumenta em todas as frequências espaciais e encontra-se entre 3 e 8 ciclos por grau. A maior frequência é atingida entre 50 cpg e 60 cpg, e corresponde à maior capacidade de resolução espacial para estas condições (Rovamo et al., 1999; Schwartz, 2004).

Figura 17: Figura da função da sensibilidade ao contraste de luminância espacial. A forma muda de passa baixa, nas baixas luminâncias para passa-banda, nas altas luminâncias (Adaptado de [webvision. med.utah.edu/KallSpatial.htm](http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.htm), acessado em 12/05/2010)

Segundo a Teoria dos Canais Múltiplos, existem diferentes grupos de neurônios que processam diferentes frequências espaciais (Campbell, 1974). Esta teoria foi criada por Campbell & Robson (1968) que mediram a função de sensibilidade ao contraste em indivíduos adaptados a uma determinada frequência espacial. Após esta adaptação a função de sensibilidade ao contraste apresentava um rebaixamento na região da frequência espacial de adaptação quando comparada à função de sensibilidade ao contraste medida sem adaptação. Com essa teoria, Campbell e Robson, sugeriram a existência de múltiplos canais no sistema visual humano, e que cada canal responde seletivamente a um grupo de frequências espaciais (BLAKEMORE & Campbell,

1969). Dessa maneira alguns canais respondem a frequências espaciais altas, outros a frequências espaciais médias e outros a frequências espaciais baixas. A curva de sensibilidade ao contraste é dada pelo conjunto dos picos de cada um dos canais (figura 18). Isso permite o conhecimento e estudos de condições onde ocorrem perdas para uma determinada faixa de frequência espacial (baixa média ou alta).

Figura 18: À esquerda, função da sensibilidade ao contraste espacial (FSCe) composta por vários canais seletivos para frequência espacial. À direita FSCe após a adaptação para uma determinada frequência espacial, a FSCe é rebaixada para a frequência espacial que foi adaptada(www.pc.rhul.ac.uk.acessado e adaptado em 15/06/2010).

O conhecimento de fatores como a forma da função, os valores de frequências espaciais onde se obtém as medidas de maior sensibilidade são de fundamental importância quando se pensa na aplicação desta função como uma medida clínica.

Sensibilidade ao Contraste Temporal (SCT)

Nosso sistema visual é altamente sensível para eventos dinâmicos. As mudanças temporais que acontecem na retina são necessárias para que ocorra a visão espacial, ou seja, o sistema visual requer algumas mudanças na luminância através do tempo para que se mantenha responsivo aos estímulos. Por sua vez, os movimentos oculares adicionam uma modulação temporal à imagem espacial retiniana, mesmo quando olhamos para um alvo estacionário, são considerados normais pequenos movimentos oculares, que são tremores fisiológicos dos olhos em alta frequência, imperceptíveis e involuntários (microsacadas) (Norton, Corliss, & Bailey, 2002b). Mesmo com estes pequenos movimentos que ocorrem involuntariamente quando fixamos uma imagem, alguns contornos do campo visual podem sumir temporariamente, o que é conhecido como efeito de Troxler. No mundo real, entretanto, as luzes aparecem e desaparecem, piscam, os objetos movimentam-se, os olhos movimentam-se também garantindo que o padrão da imagem mude constantemente através do tempo (Norton et al., 2002b).

Para o estudo da visão temporal utilizam-se normalmente estímulos que mudam sua luminância em um padrão senoidal ao longo do tempo (figura 19).

Figura 19: Perfil de luminância para um estímulo cuja luminância é modulada senoidalmente através do tempo. *Lmax* corresponde a luminância máxima, *Lmin* corresponde a luminância mínima e *L média* a luminância média. A letra “A” refere-se a amplitude de modulação (Adaptado de Schwartz, 2004).

Um estímulo de baixa frequência temporal é visto como um estímulo piscante em uma baixa velocidade, e um estímulo de alta frequência temporal é visto como um estímulo piscante em uma velocidade alta. Quando um estímulo está piscando em baixa velocidade, o piscar é perceptível, mas se o mesmo estímulo estiver em uma velocidade alta, o piscar torna-se indistinguível de um estímulo estacionário de mesma intensidade, ou seja, ao atingir o limiar, o estímulo não pode mais ser resolvido, e o piscar desaparece (Cornsweet, 1970). Este limiar é denominado de frequência crítica de fusão (FCF). A FCF é diretamente proporcional ao log da luminosidade do estímulo (Lei de Ferry- Potter).

$$FCF = k \log + b$$

Onde *k* é a inclinação da função, *b* = constante e *L* = luminância

Para altos níveis de luminância, a *FCF* aumenta com a excentricidade da fóvea, e é diretamente proporcional ao log da área do estímulo piscante (Lei de Granit-Harper), além de aumentar com o nível da adaptação a luz (Norton et al., 2002b).

Através de registros eletrofisiológicos foi possível determinar que algumas propriedades da *FCF*, ocorrem nos primeiros estágios do processamento visual (Norton et al., 2002b).

Estudos feitos com sujeitos normais constataram que a *FCF* atinge seu limiar em condições fotópicas em torno de 60 Hz; já em condições escotópicas seus limiares apresentam um decréscimo atingindo valores em torno de 15 Hz (Tyler & Hamer, 1990).

A *FCF* é a medida da capacidade temporal do sistema visual em resolver detalhes, e seu mínimo intervalo de resolução, a acuidade temporal pode ser considerada análoga ao menor ângulo de resolução no domínio espacial, ou seja, análogo a acuidade visual de grades. Ambos medem o maior limite do sistema visual para detectar a presença de alterações entre claro e escuro com um estímulo de máximo contraste. (Norton et al., 2002b). Portanto a frequência crítica de fusão é o correlato temporal da acuidade visual espacial. Para se obter a informação de como o sistema visual responde a diferentes frequências temporais, avalia-se a função de sensibilidade ao contraste temporal (*SCt*), que, por sua vez, é análoga a função de sensibilidade ao contraste espacial. A onda senoidal temporal mostrada na figura 20 é semelhante às grades de ondas senoidais espaciais, com a exceção que a luminância na *SCt*, muda ao longo do tempo e não do espaço. Podemos medir a função de sensibilidade ao contraste temporal (*SCt*), pelo limiar de contraste encontrado para cada frequência temporal e determinar assim a recíproca do limiar de contraste, ou seja, a sensibilidade ao contraste (Cornsweet, 1970). O contraste de uma onda senoidal temporal tem a mesma definição do contraste de uma grade de onda senoidal, ou seja: $C = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$.

Em humanos a função de sensibilidade ao contraste temporal, apresenta analogamente à função da sensibilidade ao contraste espacial, a forma de banda de

passagem que inclui um pico de sensibilidade ao contraste para frequências intermediárias (5Hz a 20 Hz) e um corte nas frequências altas (15Hz a 60 Hz) que representa o limite da acuidade temporal, acima da qual o piscar não pode ser resolvido mesmo com um contraste máximo (FCF). Apresenta também uma queda para as frequências temporais baixas. (figura 20) (Rasengane, Allen, & Manny, 1997; Schwartz, 2004).

Figura 20: Sensibilidade ao Contraste para diferentes frequências temporais. A área sob a linha indica os valores de contraste que permitem a percepção do piscar e a área sobre a linha a região onde não se observa o piscar. Para os humanos, o pico de sensibilidade para esta função está localizado nas frequências médias-altas, entre 8 e 10 Hz. Nota-se a acuidade temporal, no ponto onde a linha toca o eixo das abscissas Adaptado de webvision.med.utah.edu/KallSpatial.htm, acessado em 12/05/2010)

A redução para a sensibilidade nas frequências temporais baixas mostra que mudanças de baixa velocidade na iluminação não são percebidas. Como mostra a figura 18, o sistema visual apresenta uma sensibilidade ao contraste temporal baixa para luminância baixa (0,06td). O ser humano pode perceber apenas frequências temporais baixas para contrastes que variam de médio a alto. À medida que o nível de luminância aumenta, podemos perceber estímulos modulados senoidalmente com contraste baixo em uma ampla banda de frequências temporais (Norton et al., 2002b).

A queda na função da SCt para baixas frequências, é resultado da interação centro- periferia dos neurônios... Os fotorreceptores que se conectam diretamente com as células bipolares de centro On (formam o centro receptivo da célula), produzem uma despolarização (inibição) das células bipolares em resposta a luz. (Figura 21 B e 21C). Isso leva a um atraso na resposta pelo atraso na sinapse e pelo tempo de processamento da resposta. Os fotorreceptores que se conectam indiretamente via células horizontais (isto é, as células formam a periferia do campo receptivo)com o centro On das células bipolares ,mudam o potencial de membrana da célula bipolar , produzem uma excitação(hiperpolarização) em resposta ao aumento da luminância Ocorre assim um atraso entre os sinais que chegam no centro em relação aos que chegam na periferia da célula bipolar. Quando o estímulo piscante é de frequência temporal baixa (aproximadamente 1Hz), a diferença entre o sinal que chega no centro e o que chega na periferia é insignificante.Como mostra a figura 21 B, as duas respostas opostas são somadas pela célula bipolar, o que resulta em um sinal baixo. Assim a célula tem uma baixa resposta para frequências temporais baixas. Quando o piscar é maior (5Hz a 30 Hz),o atraso (d),entre as informações que chegam no centro e na periferia do campo receptivo, apresenta um fator significativo.Como mostra na figura21 C, se o atraso centro-periferia é igual a metade de um ciclo,o sinal da periferia chega exatamente

metade de um ciclo depois do sinal do centro. Isso leva a uma despolarização tanto do centro quanto da periferia da célula, que somam seus estímulos e fornecem uma resposta maior (Norton et al., 2002b).

Figura 21: Figura de como a latência da periferia do campo receptivo pode contribuir para queda nas frequências temporais baixas. Em A conexão de fotorreceptores (P) e células horizontais (H) para as células bipolares (BP) que compreende componentes de centro-periferia de um campo receptivo. B Respostas quando a relação de piscar é baixa. C efeito da resposta das células bipolares quando o piscar é rápido o suficiente que o atraso (d) do sinal da periferia, em comparação com a latência do sinal do centro, é igual a meio ciclo. Os pontos ligados na vertical correspondem aos pares de pontos que são somados. (Adaptado de :Norton et al, 2202)

Analogamente a $FSCe$, a redução para as altas frequências se deve à MTF temporal do sistema óptico e a capacidade de resposta temporal dos fotorreceptores..

Por serem funções informativas com relação ao processamento espacial de brilho e detalhes e de como estes variam no tempo, estas funções são altamente descritivas da capacidade espacial e temporal do sistema visual para a visão de formas. Pouca aplicação clínica ainda se encontra na literatura para ambas as funções, mas, principalmente para a *FSCt*.

Para o estudo da função de sensibilidade ao contraste (espacial e temporal) e de seu desenvolvimento, devemos ainda considerar quais os principais fatores que interferem nesta função.

Função de Transferência de Modulação (MTF)

A avaliação do sistema visual humano, por meio da sensibilidade ao contraste teve sua origem na medida da *MTF* de um sistema óptico (Nes & Bouman, 1967).

A resolução espacial apresenta limitações, que provém tanto de fatores óptico como de fatores neurais. Para separar esses dois fatores, é muito importante que se tenha uma medida quantitativa do desempenho do sistema óptico, o que é usualmente feito medindo-se a função de transferência de modulação (*MTF*) desse sistema óptico ou de uma lente. Quando a medida é feita apenas para os meios ópticos de um sistema, esta função é denominada de Função de Transferência Óptica (*OTF*). Com relação à parte neural do nosso sistema visual, a capacidade das células da via visual em responder às modulações recebe a denominação de Função de Transferência Neural (*NTF*). Portanto, a *MTF* do sistema visual é análoga à função de sensibilidade ao contraste (*CFS*), e resulta de uma análise da capacidade global de transferir modulações do sistema visual (Bour & Apkarian, 1996; Schwiegerling, 2000).

Para se determinar a *MTF*, grades senoidais de contraste conhecido são apresentadas como um objeto no espaço, e mede-se o contraste da imagem. A razão do

contraste da imagem pelo contraste do objeto, como uma função de frequência espacial é a *MTF* (figura22). Uma perfeita transmissão corresponde ao valor de unidade, porém em qualquer sistema óptico real, existe uma redução no contraste devido à imperfeição desse sistema, ou seja, um estímulo que apresente 100% de contraste formará na retina uma imagem com um contraste inferior a 100% (Amesbury & Schallhorn, 2003; Charman, 1991; Schwartz, 2004). Com o envelhecimento do sistema visual humano, ocorre uma redução da *MTF* para as altas frequências espaciais que se devem não apenas a alterações das capacidades ópticas das grandes lentes como a córnea e o cristalino, mas também pela redução do número de fotorreceptores na retina (Greene & Madden, 1987).

Figura 22: Grade espacial à esquerda com 100% de contraste, focado por uma lente óptica para determinar a função de transferência modular (*MTF*) da lente. À direita na figura, temos a imagem da grade espacial com redução do contraste (55%) (Schwiegerling, 2000)

Processamento Paralelo do Sistema Visual

O sistema visual humano é organizado em vias paralelas que levam informações visuais da retina para o corpo geniculado lateral e deste para o córtex visual primário (V1) (Silveira et al., 2008).

O atributo dado a vias visuais processarem informações em paralelo teve seu início a partir da constatação da presença de três grupos diferentes de células, X, Y e W, na camada plexiforme interna da retina de gatos (Enroth.Cugell, 1966). Trabalhos mais recentes mostraram uma relação desses grupos de células com as vias visuais Parvocelular, Magnocelular e Koniocelular presentes em humanos, que são assim classificadas por apresentarem diferenças morfofuncionais. Entretanto o papel de cada uma das vias ainda não está totalmente esclarecido (Silveira et al., 2008).

As vias M e P organizam-se de maneira paralelas, da camada das células ganglionares em direção ao corpo geniculado lateral, e são intercaladas pela via K. Essa organização de vias em paralelo é encontrada não somente em humanos como também em primatas (Silveira, 1998).

Na camada de células ganglionares, na retina, existem diferenças morfológicas entre as células M e P. As células ganglionares M possuem corpos celulares maiores, e as células ganglionares P apresentam corpos celulares menores. A quantidade de células ganglionares M e P na retina é em torno de 10% e 80% respectivamente (Boycott & Wässle, 1991; Silveira, 1998)

No corpo geniculado lateral (figura 23), encontra-se três populações de neurônios, que vão formar as vias Magnocelular, Parvocelular e Koniocelular.

Figura 23: Secção frontal do Corpo geniculado Lateral de um primata não humano. As camadas 1 e 2 correspondem as camadas ventrais onde se organizam as vias magnocelulares. Nas camadas de 3 a 6, tem-se as camadas dorsais do corpo geniculado lateral, onde estão organizadas as vias Parvocelulares. E as intercamadas correspondem às vias Koniocelular

Os neurônios da via Magnocelular encontram-se nas camadas ventrais 1 e 2 do corpo geniculado lateral e recebem informações vindas da retina de células ganglionares M, que por sua vez recebem conexões das células bipolares e estas dos cones M e L, que irão dar origem ao antagonismo espacial entre centro-periferia. A via Magnocelular, está relacionada à capacidade de se detectar altas frequências temporais, visão acromática, estereopsia, hiperacuidade de Vernier e movimento (Lee, Martin, & Valberg, 1989b; Lee, Martin, & Valberg, 1989a). Esta via constitui a base para os canais de luminância (Ellemberg, Lewis, Liu, & Maurer, 1999; Livingstone & Hubel, 1988; Silveira & Perry, 1991).

Os neurônios da via Parvocelular encontram-se organizados nas 4 camadas dorsais do corpo geniculado lateral que por sua vez recebem informações das células ganglionares P, presentes na retina, e ligam-se também a células bipolares e essas a cones L e M com canais de oposição pra luminância, L centro M periferia ou vice versa ,dando origem a aos canais de oposição cromática e apresentam um papel

importante na sensibilidade acromática de altas frequências espaciais, baixas frequências temporais e a informações na visão cromática verde-vermelho, além da detecção de detalhes finos dos estímulos (Perry, Oehler, & Cowey, 1984; Silveira & Perry, 1991).

Os neurônios da via Koniocelular, conhecida como via interlamelar, intercalam as duas outras vias e recebem informações das células ganglionares biestratificadas da retina blue-on. Esta via provavelmente está relacionada ao processamento de cores azul-amarelo (figura24) (Martin, White, Goodchild, Wilder, & Sefton, 1997).

Figura24: Representação das conexões feitas pelas células ganglionares da retina com as células bipolares e estas com os cones L e M ou S. No esquema é possível visualizar as células ganglionares que formam a via M (células ganglionares parasol), via P (células ganglionares anãs) e via K (células ganglionares biestratificadas pequena) (modificado de Lee, 2004).

Os axônios da via Parvocelular dirigem-se para a camada 4c β do córtex visual primário (V1), já as fibras da via Magnocelular são projetadas para a camada 4c α de V1.

(Lee, 2004). O trabalho de Xu (2001) evidenciou por meio de registros eletrofisiológicos extracelulares a existência de 3 subtipos de células Konioelulares em *Aotus Trivirgatus*. O subtipo K3 tem projeções axonais que partem do NGL e vão às áreas corticais da camada III de V1 coradas com citocromo oxidase (BLOBs), sendo este subtipo relacionado com o processamento cromático da via azul-amarelo. Os subtipos K1/K2 apresentam suas projeções para a camada I de V1. Estes subtipos apresentam uma seletividade maior para frequências espaciais baixas e altas frequências temporais se assemelhando, em resolução, às células M. Com relação à visão espacial de K3, os valores de resolução espacial e temporal são aparentemente intermediários entre os das células M e P. Trabalhos adicionais com técnicas de imunocitoquímica dão suporte para a existência de subtipos de células K (Xu et al., 2001).

As informações da via M direcionam-se para as áreas corticais V1 e V5 (MT), que estão ligadas a movimentação dos olhos, orientação e detecção de movimento. As informações provenientes de da via M, chegam com uma velocidade maior do que as informações levadas pela via P e K, o que justifica estar esta via ligada a percepção de movimento (Dacey, 2000; Derrington & Lennie, 1984; Livingstone, Rosen, Drislane, & Galaburda, 1991). Já as informações da via P, são informações de oposição cromática, o que indica estar essa via ligada na detecção da modulação cromática (Kremers, Lee, & Kaiser, 1992; Yeh, Lee, & Kremers, 1996).

As vias M e P apresentam quatro tipos diferentes de células, as Magno On e Off e Parvo On e Off (figura 25) (Van Wyk, Wässle, & Taylor, 2009; Yucel, Zhang, Weinreb, Kaufman, & Gupta, 2003).

Figura 25: Esquema ilustrativo da retina com as vias On e Off. O esquema mostra três tipos de células que contribuem para essas vias: Cones, células bipolares e as células ganglionares On e Off na camada plexiforme interna onde ocorrem as sinapses das células bipolares com as células ganglionares On e Off (webvision.med.utah.edu/imagens. Acessado e modificado em 19/03/2010).

Essa característica funcional do sistema visual foi reconhecida por meio de respostas eletrofisiológicas na retina, onde se pode perceber que algumas células respondiam a incremento de luz (células On) e outras a decremento luminoso (células Off) (Chalupa & Gunhan, 2004). Esse achado deu-se pela primeira vez em células ganglionares na retina de gato, com centro de campo receptivo On e Off (Kuffler, 1953).

Estudos feitos com macacos mostraram a existência, de dois mecanismos de oponência, um para a variável espacial e outro para cor. Wiesel e Hubel (1966) em seu estudo demonstraram a existência de quatro tipos de campos receptivos para estas variáveis. Os campos receptivos dos neurônios do corpo geniculado lateral do macaco Rhesus foram nomeados em quatro tipos: tipo I com antagonismo tanto cromático

quanto espacial; tipo II apenas antagonismo cromático, ou seja, as regiões On e Off são co-existent; tipo III apenas antagonismo espacial e tipo IV com respostas maiores para antagonismo espacial do que para antagonismo cromático. Outros estudos feitos posteriormente confirmaram os achados de Wiesel e Hubel (1966), tanto no corpo geniculado lateral de macacos (Derrington & Lennie, 1984), quanto nas camadas de células ganglionares da retina (Lee et al., 1989b; Lee et al., 1989a). As células M apresentam campo receptivo do tipo III e IV, já as células P apresentam campo receptivo do tipo I.

As células M recebem informações dos cones sensíveis a comprimento de onda longo (cones L) e a cones sensíveis a comprimento de onda médio (cones M),

O que sabemos hoje é que respostas diferentes ao aumento e diminuição da luz na retina, ocorrem em todos os níveis do sistema visual (Chalupa & Gunhan, 2004)

Desenvolvimento da Sensibilidade ao Contraste

Sabendo que as vias visuais apresentam seu processamento em paralelo e que estas vias apresentam diferenças anatômicas e funcionais, torna-se claro a necessidade do conhecimento do seu período crítico de maturação, para que assim possa se compreender as consequências causadas ao sistema visual por um mau funcionamento ou por alguma patologia que se estabeleça durante esse período (Hammarrenger et al., 2003).

Existem evidências de períodos diferentes de maturação das vias visuais, como os achados em macaco Rhesus, onde a migração das células M para o diencéfalo ocorrer antes do que as células P, e durante o período de apoptose antes do nascimento o número de morte celular da via M no corpo geniculado lateral é superior a ocorrida com as células da via P (Rakic, 1977). As diferenças na maturação também podem ser percebidas na região cortical. O número de sinapses que ocorrem com macaco Rhesus, com três semanas de vida, na camada 4C α (para onde as células M do CGL projetam-se), é muito semelhante a valores encontrados em um adulto. Já as sinapses ocorridas na camada 4C β (provenientes da via P no CGL), ocorrem de maneira mais gradual. Essas sinapses apresentam um aumento até a 12^o semana de nascimento ocorrendo uma pequena queda após este período até atingirem os valores de um adulto. Mesmo o desenvolvimento da camada 4C α , em estudos morfológicos com macacos, ocorre primeiro do que a camada 4C β (Mates & Lund, 1983).

Estudos em humanos mostram também haver um desenvolvimento anatômico semelhante aos achados em macacos, como o do corpo celular e dos dendritos da célula M ocorrer anteriormente do que da célula P (Hammarrenger et al., 2003), o desenvolvimento que ocorre na retina durante a infância (Abramov et al., 1982) e a

proliferação de sinapses que ocorre no córtex visual (Huttenlocher, Decourten, Garey, & Vanderloos, 1982).

Testes em humanos, que avaliam a acuidade visual, mostram que em recém-nascidos, essa função (acuidade visual) apresenta uma limitação de aproximadamente 50 vezes, quando comparada a acuidade visual de um adulto. A acuidade visual em recém-nascidos apresenta um período de desenvolvimento rápido, nos primeiros seis meses de idade (Salomão & Ventura, 1995; Schwartz, 2004). As avaliações psicofísicas e eletrofisiológicas mostram dados sobre o desenvolvimento funcional, por meio da avaliação da acuidade visual, sensibilidade ao contraste espacial e temporal, além de outros testes que buscam separar de maneira mais precisa as vias Magnocelular e Parvocelular On e Off.

Estudos que avaliam a função da sensibilidade ao contraste em crianças, bem como o seu desenvolvimento, tiveram seu início na década de 70 (Banks, Stephens, & Hartmann, 1985) e foram feitos por meio da aplicação de métodos comportamentais cuja avaliação baseava-se na preferência por padrões, encontrando como resultado uma sensibilidade ao contraste menor do que a encontrada em adultos (Atkinson, Braddick, & Braddick, 1974; Banks & Salapatek, 1976).

Adams & Courage (2002), utilizando-se de um teste desenvolvido por eles baseado nos cartões de acuidade de Teller, avaliaram a função da sensibilidade ao contraste de crianças de 4 a 9 anos e em adultos e adicionaram os dados a dois de seus trabalhos desenvolvidos anteriormente em que foi feita a avaliação de bebês entre 1 mês e 3 meses de idade (Adams, Mercer, Courage, & Vanhofvanduin, 1992; Adams & Courage, 1993). Os resultados mostraram um ganho qualitativo e quantitativo na função da sensibilidade ao contraste espacial. Esse trabalho obteve também como resultado uma completa maturação dessa função aos 9 anos de idade e um aumento da

sensibilidade ao contraste espacial para as frequências espaciais mais altas nas idades a partir de 4 anos (figura 26).

Figura 26: *Desenvolvimento da Sensibilidade ao Contraste Espacial, desde o primeiro ano de vida até a maturidade com as médias e os erros padrões de cada frequência espacial em cada idade (Adams&Courage,2002.Modificado em 20/05/2010).*

Outros estudos comportamentais utilizando-se da técnica do olhar preferencial mostraram que o desenvolvimento da função de sensibilidade ao contraste temporal em crianças, apresenta também um período de desenvolvimento atingindo os valores próximos de um adulto, aproximadamente aos dois meses de idade (Regal, 1981).

Novas metodologias, baseadas nos movimentos oculares (Meijler & Van den Berg, 1976) e no método do Potencial Visual Provocado (PVE), foram aplicadas para o estudo da função da sensibilidade ao contraste e de seu desenvolvimento na infância (Norcia, Tyler, & Allen, 1986; Norcia, Tyler, & Hamer, 1990).

O que sabemos é que a sensibilidade ao contraste em crianças é menor do que em adultos, e que existe um desenvolvimento dessa função nos primeiros meses de vida, achados esses bem documentados em estudos eletrofisiológicos (Norcia et al., 1990) e comportamentais (Atkinson, Braddick, & Moar, 1977).

Apkarian (1993) em seu estudo com potencial visual provocado (PVE), mostrou que o desenvolvimento da maturação da sensibilidade ao contraste temporal ocorre após os 5 meses de idade.

Norcia et al (1990), utilizando-se do PVE, demonstraram ocorrer um maior desenvolvimento para as baixas frequências espaciais da quarta a nona semana de vida, atingindo após este período os valores similares ao de um adulto. Após as nove semanas as baixas frequências permanecem praticamente constantes, enquanto a sensibilidade ao contraste para as altas frequências aumenta de forma gradativa até atingirem os valores de um adulto. Fatores anatômicos, como o tamanho do globo ocular e uma menor densidade de fotorreceptores, ajudam a justificar essa redução na sensibilidade ao contraste espacial e temporal em recém nascidos, além da presença de um maior ruído neural do que em adultos, uma vez que com o avanço da idade esse ruído neural apresenta uma redução considerável e por sua vez uma melhora na sensibilidade ao contraste (Skoczinski & Norcia, 1998).

Estudos feitos com cartões desenvolvidos para avaliar a função da sensibilidade ao contraste, semelhantes aos Cartões de Acuidade de Teller, mostraram haver uma melhora no pico da sensibilidade durante o primeiro ano de vida (Adams et al., 1992; Adams & Courage, 1993).

Ellemberg et al (1999) mediram o desenvolvimento da visão espacial e temporal em crianças a partir dos 4 anos de idade. Foi usado um padrão de grades de ondas senoidais para a avaliação da função de sensibilidade espacial e um padrão modulado

através do tempo para o estudo da função de sensibilidade ao contraste temporal. Para a visão espacial, crianças a partir de 7 anos atingem valores semelhantes ao de adultos. Para a visão temporal, crianças a cima de 4 anos apresentam valores semelhantes ao de adultos para as frequências temporais altas(30Hz). Para as frequências temporais baixas (5Hz e 10Hz), a sensibilidade ao contraste temporal atinge os valores de adulto por volta dos 7 anos de idade (figura 27)

Figura 27: Média da sensibilidade ao Contraste (+/- 1 erro padrão) em função da frequência temporal para adultos e crianças (Adaptado de Elleberg, 1999).

Os valores de maturação e desenvolvimento variam muito de acordo com a técnica utilizada e até mesmo quando se utilizava da mesma técnica para avaliara a sensibilidade ao contraste temporal, porém em diferentes laboratórios. Estudos avaliando a resposta retiniana por meio de eletroretinograma mostraram que o desenvolvimento da frequência critica de fusão na retina ocorre cedo na vida, atingindo os valores adultos perto dos 2 meses de idade (Rasengane et al., 1997). Porém todos os

estudos entram em concordância a respeito da existência de um período de desenvolvimento das funções de sensibilidade ao contraste até atingirem valores de um adulto (Rasengane et al., 1997).

Muito pouco, no entanto, é conhecido sobre o desenvolvimento da sensibilidade ao contraste e de quando realmente esta atinge os valores de adulto. Estudar as diferenças no desenvolvimento da sensibilidade ao contraste espacial e temporal pode-se conquistar novas ferramentas de conhecimento de fatores que limitam ambas as sensibilidades, bem como diferentes graus de desenvolvimento de aspectos neurais. (Mirabella et al., 2005; Oliveira et al., 2004; Oliveira, 2007)

As pesquisas feitas com crianças mais velhas mostram resultados muito diferentes entre si. Enquanto um estudo feito com crianças entre 8 e 15 anos, mostrou que a sensibilidade ao contraste espacial ainda encontrava-se imatura (Arundale, 1978), outros estudos encontraram valores semelhantes ao de adultos em crianças cujas faixas etárias variavam entre 6 e 10 anos de idade (Derefeldt, Lennerstrand, & Lundh, 1979; Mayer, 1977). Outros trabalhos avaliam estas funções, mas não determinaram a idade em que os valores de adultos são alcançados (Abramov et al., 1984; Gwiazda, Bauer, Thorn, & Held, 1997; Scharre, Cotter, Block, & Kelly, 1990).

Temos, portanto, uma importante lacuna, no que diz respeito ao entendimento de como as funções de Sensibilidade ao Contraste Espacial e, principalmente, a Sensibilidade ao Contraste Temporal, se desenvolve.

A escassez de trabalhos sobre estes tópicos também se estende para a idade da maturidade e da senescência. Assim, nosso trabalho visa explorar as medidas de Sensibilidade ao Contraste buscando contribuir para o preenchimento desta lacuna.

Um resumo dos trabalhos citados encontra-se anexo (*Anexo I*).

Valores de Normalidade

Para a utilidade prática nas respectivas comparações necessitamos determinar valores de normalidade para as funções estimadas. Para tal, é indispensável termos em mente alguns conceitos. Um intervalo de confiança cobre um parâmetro populacional com uma dada confiabilidade isto é, certa probabilidade. Há também uma maneira de se cobrir uma proporção fixa da população, também com uma dada confiabilidade. Tal procedimento é denominado de Intervalo de Tolerância e seus limites de Limites de Tolerância (Home, 2010). Uma aplicação dos Limites de Tolerância envolve a determinação de faixas de valores que cobrem uma proporção específica da população.

Quanto maior o número da amostra que originou o Intervalo de Tolerância, melhor será a precisão com a qual conseguiremos estabelecer os pontos limites. Tais Intervalos de Tolerância estatisticamente definidos apresentam uma interpretação probabilística, ou seja, estabelecemos os limites os quais consideramos como normais, com uma dada probabilidade de certeza.

O Intervalo de Tolerância é definido pelos Limites de Tolerância Inferior e Superior, computados pelas medidas obtidas em nossa amostra. De acordo com Dixon e Massey (1969) os limites são calculados pela equação:

$$\textbf{Limite Superior: } L_s = X + k.D$$

$$\textbf{Limite Inferior: } L_i = X - k.D$$

onde X é o valor médio, D o desvio-padrão e k são determinados considerando-se o intervalo a ser coberto para uma dada proporção da população, com uma dada confiabilidade.

Limites de Tolerância também podem ser obtidos para dados não-paramétricos. Neste caso, os Limites de Tolerância podem ser considerados como a proporção da

população entre o menor e o maior valor obtido em uma população de valores contínuos, mas função de distribuição desconhecida (Somerville, 1958).

Psicofísica

A Psicofísica é o estudo da relação entre o estímulo físico e a resposta perceptual, dada de maneira verbal ou comportamental. Uma das dificuldades nas pesquisas que se dedicam ao estudo da percepção é determinar a sua precisão. Foram antigos estudiosos, como o fisiologista Ernest Weber (1795-1871) e o físico e filósofo Gustav Teodor Fechner (1801-1887), que na tentativa de estabelecerem uma forma de quantificar a percepção deram início aos princípios teóricos da psicofísica. Termo esse creditado a Gustav Teodor Fechner (1801-1887), que primeiro descreveu os princípios psicofísicos por meio de uma abordagem matemática para as relações elaboradas na época sobre percepção e estimulação física (Coren, Ward, & Enns, 2004b; Norton et al., 2002a). O psicólogo alemão Wilhelm Max Wundt (1832-1920), acreditava serem as respostas orgânicas dependentes de fatores fisiológicos e psicológicos (Coren et al., 2004b). Assim sendo, a Psicofísica pode ser considerada como parte da Psicologia.

Existem 3 relações básicas entre a pesquisa perceptual: a relação(Φ)entre o estímulo e a resposta fisiológica; a relação(ψ) entre o estímulo e a resposta perceptual e a relação(L) entre a resposta fisiológica e a perceptual(Goldstein, 2001) (figura 28).

Figura 28: Relações básicas entre a pesquisa perceptual (Goldstein, 2001).

A relação (Φ) fisiológica é o método dominante para estudar os trabalhos fisiológicos de mecanismos perceptuais, como a pesquisa de Hubel e Wiesel (1962), na qual eles especificaram a resposta e a organização dos neurônios do sistema visual de gatos e macacos. A relação (ψ) é chamada de método psicofísico e incluem o método clássico de Fechner para determinar os limiares (Fechner, 1860 Goldstein, 2001). E a relação L, é a ligação entre a fisiologia e a percepção (Goldstein, 2001).

A medida psicofísica da função visual envolve a apresentação do estímulo, que varia ao longo de várias dimensões (comprimento de onda, duração de exposição, forma), e a emissão de uma resposta comportamental decorrente dessa estimulação sensorial.

Os experimentos psicofísicos e os procedimentos clínicos baseados na psicofísica envolvem a determinação de um limiar, que é definido como a quantidade mínima de estímulo que pode ser detectado. A sensibilidade a um estímulo físico é a

recíproca de seu limiar (sensibilidade = $1/\text{limiar}$). Teoricamente, o limiar é determinado pelo ponto onde o estímulo é detectado em 50%.

Nas medidas de limiares a passagem de um estado de sensibilidade para outro é gradual. No caso dos humanos, tal variabilidade pode ser decorrente de uma série de fatores como estado de adaptação do sistema, “ruídos” neurais, característica do estímulo e da tarefa, assim como atenção, motivação e a disposição física, tornam-se variáveis que irão afetar o limiar (Costa, 2009; Norton et al., 2002a).

Métodos Psicofísicos Clássicos

São três os métodos psicofísicos clássicos descritos por Fechner:

Método do Ajuste: Onde o sujeito testado, tem o controle da variação do estímulo de maneira direta, ou seja, o sujeito testado ajusta o valor do estímulo até que esse se iguale ao estímulo padrão. O teste pode ser ascendente, onde o sujeito tem a tarefa de identificar o ponto exato onde ele é capaz de perceber o estímulo ou no caso do ajuste descendente, o sujeito deve determinar o ponto onde deixa de perceber o estímulo; estabelecendo-se assim, uma estimativa do limiar (Bi & Ennis, 1998; Treutwein, 1995); Método dos Estímulos Constantes, que está relacionado à apresentação de uma determinada quantidade de estímulos repetida vezes, o limiar do estímulo é encontrado em qualquer lugar dentre esses pontos. A detecção do sinal é relacionada a intensidade do estímulo. Sua medida é chamada de função psicométrica, onde existe uma maior probabilidade de acerto na detecção de sinais que estejam em pontos de maior intensidade de estimulação (Bi & Ennis, 1998); Método dos Limites, quando há a apresentação de estímulos bem acima ou bem abaixo do limiar e este estímulo é aumentado ou diminuído, até o instante em que o sujeito torna-se incapaz de perceber o estímulo. Esse teste assemelha-se ao Método do Ajuste, porém o sujeito não

tem controle sobre a intensidade do estímulo. A tarefa do sujeito é responder se o estímulo é visto ou não, modulado em passos iguais de intensidade do estímulo. Assim o limiar é considerado como uma média de pontos de limiares ascendentes e descendentes medidos (Bi & Ennis, 1998; Coren, Ward, & Enns, 2005; Costa, 2009).

Objetivos

Dada a necessidade de maior conhecimento do desenvolvimento da Função de Sensibilidade ao Contraste e da contribuição das vias de processamento espacial, Magnocelular e Parvocelular, temos como objetivo avaliar a Função de Sensibilidade ao Contraste de Luminância Espacial e Temporal, estudar o desenvolvimento destas funções, a contribuição das vias de processamento paralelo para as funções de Sensibilidade ao Contraste e seu respectivo desenvolvimento e, por fim, determinar valores normativos destas funções visando uma aplicabilidade clínica.

Material e Métodos

Sujeitos

A casuística prevista é de 100 sujeitos baseada no cálculo de tamanho de amostra, com poder fixo de 0,80 e alfa de 0,05. O estudo de tamanho da amostra sugere um número mínimo de 30 sujeitos para cada um dos grupos com diferentes faixas etárias: Grupo I (6 a 15 anos de idade), grupo II (18 a 30 anos) e Grupo III (31 a 57 anos).

Como critério de inclusão, os sujeitos apresentavam acuidade visual corrigida igual ou superior a 20/20; erro refrativo menor ou igual a 3.00 dioptrias esféricas (considerando o respectivo equivalente esférico); avaliação ortóptica prévia classificados como normais; terem exame oftalmológico normal. Foram excluídos os sujeitos que apresentavam doenças sistêmicas; por estarem fazendo uso de medicamento sistêmico ou de efeito no sistema nervoso.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética de Pesquisas com Seres Humanos do Instituto de Psicologia da USP sob nº 2008 026.

Equipamento

Utilizamos o programa *PSYCHO for Windows Versão 2.36* (Cambridge Research Systems, CRS-Ltd, UK) acoplado a um microcomputador PC XTC -600. Os estímulos foram apresentados em um monitor Sony Triniton de 19 polegadas GFD420 (Sony Corporation, USA) com resolução espacial de 800X600 e resolução temporal de

69 Hz Os estímulos eram comandados pela placa gráfica VSG 2/4 (Cambridge Research Systems, CRS-Ltd, UK) (figura 29).

Figura 29: Microcomputador PC onde está instalado o programa *Psycho for Windows*. No monitor A, observamos a tela de experimentação. No monitor B, exemplo de estímulo utilizado para a medida de Sensibilidade ao Contraste de Luminância Espacial.

Estímulo

O estímulo para a avaliação da sensibilidade ao contraste espacial foi um padrão listrado preto e branco de modulação senoidal, com as barras orientadas horizontalmente (figura 30). Avaliamos quatro frequências espaciais de 0,5; 2,0; 8,3; e 14,5 cpg.

Figura 30: Monitor de vídeo do aparelho *Psycho for Windows* com apresentação do estímulo para sensibilidade ao contraste espacial, onde o padrão utilizado foi de ondas senoidais.

Para a avaliação da sensibilidade ao contraste temporal, foi usada uma modulação senoidal de luminância com uma função Gabor superposta. O campo de teste era de 2.7° de ângulo visual e a transparência central da Gabor cobria 1° de ângulo visual a 1 desvio padrão (figura 31). Na avaliação da frequência temporal, também foram usados quatro estímulos com diferentes frequências temporais de modulação (2.5; 5.0; 10.0; e 20 Hz) respectivamente.

Figura 31: Monitor de vídeo do aparelho *Psycho for Windows* com apresentação do estímulo para sensibilidade ao contraste temporal, que consiste de um flicker de modulação senoidal preto e branco que contém a função Gabor. Abaixo seu perfil de luminância modulado senoidalmente através do tempo.

Na avaliação da contribuição das vias de processamento paralelo Magnocelular e Parvocelular na Sensibilidade ao Contraste foi utilizado o Teste do Xadrez (Costa, 2010, submetido) (figura 32).

Figura 32: *Teste do Xadrez.com estímulos gerados no Psycho for windows Na parte superior, o teste que avalia a via Magnocelular On (estímulo a esquerda) e Off(estímulo a direita). Na parte inferior teste que avalia a via Parvocelular On e Off (estímulo a esquerda e direita respectivamente).*

O teste do Xadrez utilizado neste trabalho é uma adaptação desenvolvida por Costa e Ventura (2005) da versão de Benoff et al (2001). No teste de Benoff et al (2001), foi feita uma avaliação eletrofisiológica do potencial visual provocado, já na versão de Costa & Ventura (2005) ,foi feita uma avaliação psicofísica,porém com o mesmo objetivo do método original,que buscou separar as vias magnocelulares e parvocelulares.

Para a avaliação das vias Magnocelular (0,5cpg) e Parvocelular (4,5cpg), o estímulo foi apresentado com duas durações: 1500ms e 33ms, respectivamente. O estímulo em formato de xadrez alternava a sua luminância, sendo a luminancia do fundo mais baixa quando se avaliava a via Magnocelular e Parvocelular On e a luminância

invertiam-se quando se avaliava a via Magnocelular e Parvocelular Off. O tabuleiro de xadrez era apresentado de quatro maneiras: no procedimento para Magnocelular On ou Off e Parvocelular On ou Off.

Os estímulos foram programados para serem apresentados de maneira aleatória. Para todos os testes, a luminância média é de 34,4cd/m², medida com o luminômetro Minolta XYZ e a correção gama realizada com o fotômetro Optical OP 200-E (Cambridge Research Systems- CRS - LTD, Cambridge, UK). O estímulo foi apresentado a uma distância de 1 metro do sujeito, formando assim uma área de 4°X4° de ângulo visual, exceto para a medida temporal, pois esta apresentava a função Gabor superposta com corte em 1 desvio-padrão a 2,7° de ângulo visual.

Procedimento

Os sujeitos foram avaliados individualmente, em sala escurecida, sendo os mesmos posicionados de maneira confortável em assento disposto a 1 metro de distância da tela do monitor. A avaliação foi monocular, tendo como critério a avaliação do olho de melhor visão ou sorteado no caso de uma acuidade visual igual em ambos os olhos (Figura 33).

Figura 33: Sujeito na sala de teste posicionado a 1 metro de distância em relação ao monitor gerador do estímulo. Avaliação feita monocularmente com o uso de protetor ocular. No exemplo acima podemos perceber o estímulo utilizado na avaliação da sensibilidade ao contraste espacial, onde o estímulo são grades de ondas senoidais.

Para avaliar a acuidade visual dos participantes medimos na tabela de optotipos LogMAR ETDRS a visão de ambos os olhos em condições fotópticas.

Os sujeitos avaliados foram orientados para que durante o teste, mantivessem sua atenção no ponto de fixação (cruz) localizado no centro do monitor. Os participantes eram informados quanto ao aparecimento de um padrão de listras horizontais, pretas e brancas no monitor, quando era feita a avaliação da sensibilidade ao contraste espacial, ou padrão piscante para a avaliação da sensibilidade ao contraste temporal. Para a avaliação das vias Magnocelular e Parvocelular, o sujeito era informado do aparecimento de um padrão xadrez maior (Magnocelular) e menor (Parvocelular). Foi usado um paradigma psicofísico de apresentação *SIM/NÃO*, onde o sujeito deveria informar da presença ou ausência do padrão apresentado, ou seja, se viu ou não o

estímulo. Caso o indivíduo não respondesse ao teste, ou não o fizesse no tempo estipulado, esse estímulo era apresentado posteriormente de maneira aleatória. Para que o participante percebesse a mudança do estímulo, um sinalizador sonoro avisava a cada mudança. A duração do estímulo no monitor era de até 6 segundos.

O teste só tinha seu início após a orientação ao participante a respeito do que lhe seria solicitado. No início do teste o olho não testado era ocluído com adesivo oftalmológico antialérgico (Oftan, AMP Brasil).

O teste teve um padrão pré-estabelecido quanto à orientação do sujeito e ao procedimento, uma vez que as informações seguiam instruções redigidas e foram lidas a todos os participantes. O teste era interrompido momentaneamente, caso o sujeito demonstrasse cansaço, distração ou dúvida. O retorno era o mais breve possível para que o teste não tivesse uma duração muito longa, comprometendo a concentração do sujeito e interferindo na qualidade dos resultados. Mesmo quando o teste era interrompido, a sala permanecia escurecida, para que não comprometesse a adaptação do sujeito à condição de iluminação.

O teste se iniciava com o estímulo em condição supraliminar. Foi realizado um total de 35 apresentações por teste, com a obtenção de um número mínimo de cinco reversões por frequência. A duração do teste visava não ultrapassar dez minutos por olho avaliado, tendo, portanto um tempo total de avaliação estimado em trinta minutos, uma vez que foram três os testes.

As respostas fornecidas pelo sujeito foram registradas no computador, pelo examinador, após a informação verbal do sujeito testado, quanto à presença ou ausência do estímulo no monitor. Um apito sonoro avisava o sujeito quando o estímulo era apresentado. O aparelho foi previamente calibrado, visando medir sua luminância. O teste era executado em ambiente escuro. A calibração Gamma também foi realizada.

Exemplos de respostas de contraste obtidos em nossos sujeitos podem ser vistos nas figuras 34 e 35.

Figura 34: Tela com gráfico da sensibilidade ao contraste espacial

Figura 35: Tela com gráfico da sensibilidade ao contraste temporal

Análise Estatística

Para a avaliação estatística, realizamos a análise descritiva completa incluindo média, desvio e erro padrões, mediana, quartís 25% e 75% e os Percentís 2,5% e 97.5%. Adesão à curva normal foi verificada com o teste de *Kolmogorov-Smirnov* para parâmetros normais desconhecidos, denominado de Teste das Probabilidades de *Lillefors*. Para tal estudo se $p > 0,05$ considera-se uma aderência confiável ao modelo de normalidade; se $p < 0,05$ toma-se a hipótese de não aderência ao modelo de normalidade como verdadeira. No nosso estudo os valores foram todos de $p < 0,05$. Isso se deve a grande dispersão dos nossos dados. Assim a comparação entre os grupos foram realizadas com o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, que mostrou-se estar mais de acordo com os dados de nossa amostra.

Resultados

Avaliamos 112 sujeitos divididos em três grupos: Grupo I (n= 28, média= 9,14 (2,7) anos); Grupo II (n= 57, média= 23,7(3,4) anos); Grupo III (n= 24, média= 41,8 (5,5) anos. Uma tabela demográfica contendo os dados de todos os pacientes se encontra anexo (Anexo II).

Encontramos diferença estatisticamente significante para o Grupo I quando comparado aos Grupos II e III para as frequências espaciais de 2,0cpg ($H=12,80$; $p=0,017$); 8,3cpg ($H=22,51$; $p< 0,001$) e 14,5cpg ($H=16,07$; $p= 0,003$). Para estas frequências espaciais o Grupo I apresenta valores de sensibilidade ao contrastes maiores em relação aos Grupos II e III (figura36). Não foram encontradas diferenças estatísticas na comparação entre grupos para a frequência de 0,5cpg testada na sensibilidade ao contraste espacial ($p=0,117$).

Figura 36: Resultados da mediana e percentil (25%-75%) dos grupos I, II e III para as frequências espaciais de 0,5 cpg, 2,0 cpg, 8,3 cpg e 14,5 cpg. Todos os Box representam o percentil 25%-75%. A linha horizontal dentro do Box refere-se à mediana. O * representa os sujeitos “outliers”. Não foram encontradas diferenças estatísticas entre os Grupos para a frequência espacial de 0,5 cpg. O Grupo I apresentou uma diferença estatística dos Grupos II e III para as frequências espaciais de 2,0cpg, 8,3cpg e 14,5 cpg.

A função da sensibilidade ao contraste espacial apresentou uma morfologia normal com o pico nas as frequências médias e uma queda para as frequências baixas e altas, mas com exceção para o Grupo III, que apresentou uma queda para as frequências médias, mais acentuada para a frequência 8,3cpg (figuras 37 e 38).

Figura37: Resultado das medianas com os respectivos desvios padrões para as diferentes frequências espaciais (0,5; 2,0; 8,3 e 14,5 cpd). A curva mostra um pico para as frequências médias para os Grupos I e III. Apenas o Grupo III apresenta uma pequena queda para a frequência média (8,3 cpd)

Figura 38: *Função de sensibilidade ao contraste espacial composta pela mediana para cada grupo nas frequências espaciais avaliadas. Nota-se a forma de banda de passagem para os três grupos (I II e III).*

Os valores descritivos de sensibilidade ao contraste espacial (contendo o número de sujeitos testados, e os valores estatísticos de Média, Mediana e Desvio-padrão) para cada uma das frequências espaciais estão apresentados na tabela 1 (Grupo I), tabela 2 (Grupo II) e tabela 3 (Grupo III).

Tabela 1 : Valores Descritivos para o Grupo I de Sensibilidade ao Contraste Espacial

Frequência Espacial (cpg)	Nº	Média	Mediana	DP
0,5	23	55,73	50,85	19,65
2,0	23	194	195	53,41
8,3	23	164	150	47,32
14,5	23	59,61	54,42	18,32

Tabela 2: Valores Descritivos para o Grupo II de Sensibilidade ao Contraste Espacial

Frequência Espacial (cpg)	Nº	Média	Mediana	DP
0,5	57	47,59	43,74	18,55
2,0	57	148	135	54,62
8,3	57	125	120	67,46
14,5	57	48,35	40,84	29,11

Tabela 3: Valores Descritivos para o Grupo III de Sensibilidade ao Contraste Espacial

Frequência Espacial (cpg)	Nº	Média	Mediana	DP
0,5	24	42,83	39,59	17,48
2,0	24	136	124	49,39
8,3	24	80,10	54,92	44,59
14,5	24	35,42	32,46	16,83

Para a frequência temporal de 2,5Hz o Grupo I apresentou-se estatisticamente diferente quando comparado aos Grupos II e III ($H=11,90$; $p=0$). Já para a frequência

temporal de 5,0 Hz o Grupo III apresentou uma diferença estatística em relação aos Grupos I e II ($H=7,91$; $p=0,01$) (figura 39).

Figura 39: Resultados da mediana e percentil (25%-75%) dos grupos I, II e III para as frequências temporais de 2,5 Hz, 5,0 Hz, 10 Hz e 20 Hz. Todos os Box representam o percentil 25%-75%. A linha horizontal dentro do Box refere-se à mediana. O * representa os sujeitos “outliers“. Houve diferença estatística para as frequência temporal baixa (2,5Hz) do Grupo I em relação aos Grupos II; III. Para a frequência temporal de 5,0Hz, o Grupo III mostrou-se diferente estatisticamente dos Grupos I e II.

Para os valores de sensibilidade ao contraste temporal, não foram encontradas diferenças estatísticas para as frequências temporais de 10 Hz e 20 Hz. Embora para a

frequência temporal de 10Hz , nota-se que o Grupo III apresenta uma tendência de queda nos seus resultado em relação aos Grupos I e II ($X^2=1,9$; $H= 7,02$; $p>0,05$).

A função da sensibilidade ao contraste temporal apresentou um pico para as frequências de 5,0Hz e 10Hz .Nota-se uma queda para as frequências de 2,5Hz e 20Hz para os três grupos avaliados (figura 40).

Figura 40: Resultado das medianas com os respectivos desvios padrões para as diferentes frequências temporais (2,5; 5,0; 10 e 20 Hz). A curva mostra um pico para as frequências médias para os três grupos avaliados.

A função de sensibilidade ao contraste temporal apresentou a forma de banda de passagem para os três grupos avaliados. Podemos também perceber uma menor resposta dos Grupos II e III para a frequência temporal de 2,5Hz em relação aos demais grupos e

uma queda na frequência de 5,0Hz do Grupo III em relação aos Grupos I e II (figura 41).

Figura 41: Função de sensibilidade ao contraste temporal composta pela mediana para cada grupo nas frequências temporais avaliadas. Nota-se a forma de banda de passagem para os três grupos (I II e III).

Os valores descritivos de sensibilidade ao contraste temporal (contendo o número de sujeitos testados, e os valores estatísticos de Média, Mediana e Desvio-padrão) para cada uma das frequências estão apresentados na tabela 4 (Grupo I), tabela 5 (Grupo II) e tabela 6 (Grupo III).

Tabela 4: Valores Descritivos para o Grupo I de Sensibilidade ao Contraste Temporal

Frequência Temporal (Hz)	Nº	Média	Mediana	DP
2,5	26	49,20	27,42	56,27
5,0	26	64,53	45,41	67,24
10	26	54,91	49,30	25,25
20	26	36,82	29,94	22,76

Tabela5: Valores Descritivos para o Grupo II de Sensibilidade ao Contraste Temporal

Frequência Temporal (Hz)	Nº	Média	Mediana	DP
2,5	57	25,53	22,41	12,12
5,0	57	50,50	49,04	27,39
10	57	54,39	46,29	25,74
20	57	28,47	26,31	9,77

Tabela 6: Valores Descritivos para o Grupo III de Sensibilidade ao Contraste Temporal

Frequência Temporal (Hz)	Nº	Média	Mediana	DP
2,5	24	20,94	17,78	11,49
5,0	24	35,09	28,46	17,40
10	24	39,44	36,17	16,46
20	24	26,52	23,02	12,07

No teste do Xadrez não foram encontradas diferenças estatísticas para nenhum dos grupos avaliados ($p > 0,05$) (figura 42).

Figura 42: Resultados da mediana e percentil (25%-75%) dos grupos I, II e III para as frequências espaciais de 4,5cpg e 5cpg para o teste que avaliou a via parvocelular e magnocelular respectivamente. Todos os Box representam o percentil 25%-75%. A linha horizontal dentro do Box refere-se à mediana. O * representa os sujeitos “outliers”. Não houve diferença estatística no teste para nenhum dos três grupos.

O teste do Xadrez apresentou valores maiores do subgrupo Off em relação ao subgrupo On tanto para o estudo da Via Parvocelular quanto da Via Magnocelular (figura 43).

Figura 43: Resultado da mediana e desvio de sensibilidade ao contraste para o Teste do Xadrez. Tanto para o teste da via Parvocelular quanto da via Magnocelular apresentam uma melhor resposta para o subgrupo Off.

Valores descritivos do Teste do Xadrez (contendo o número de sujeitos testados, e os valores estatísticos de Média, Mediana e Desvio-padrão) encontram-se na tabela 7.

Tabela 7: Valores descritivos do Teste do Xadrez para os três Grupos

Grupo I	Parvo On (4,5 cpg)	Parvo Off (4,5 cpg)	Magno On (0,5 cpg)	Magno Off (0,5 cpg)
Sujeitos	28	28	26	25
Media	59,67	60,15	96,15	104
Mediana	40,86	47,60	84,86	90,84
Desvio Padrão	48,30	30,78	44,73	40,29
Grupo II	Parvo On (4,5 cpg)	Parvo Off (4,5 cpg)	Magno On (0,5 cpg)	Magno Off (0,5 cpg)
Sujeitos	36	35	36	35
Media	58,65	102	70,08	94,35
Mediana	44,91	76,54	66,08	83,71
Desvio Padrão	49,07	66,76	39,26	45,26
Grupo III	Parvo On (4,5 cpg)	Parvo Off (4,5 cpg)	Magno On (0,5 cpg)	Magno Off (0,5 cpg)
Sujeitos	24	24	24	24
Media	46,59	93,76	63,75	87,19
Mediana	41,19	59,12	62,40	84,29
Desvio Padrão	24,29	75,99	35,24	33,20

Os limites de Tolerância foram obtidos para cada grupo de nosso estudo, considerando uma cobertura de 90% da população com uma probabilidade de 95%. Para o Grupo I (n= 28), o valor de k foi de 2, 413; para o Grupo II (n=57), o valor de k= 2, 334; para Grupo III (n=24), k= 2, 713 (Natrella, 1963). No entanto, como a

variabilidade é muito alta, a multiplicação do desvio padrão pelo fator k gerou valores negativos para os limites inferiores, sugerindo uma inadequação deste cálculo para a nossa amostra. Uma alternativa é a de se considerar os limites de Tolerância obtidos pelos valores de Percentil 2,5% e 97.5%. Tais valores são um correlato não-paramétrico dos Limites de Tolerância calculados para cobrir 90% da população com 90% de confiabilidade (Somerville, 1958).

Discussão

Sensibilidade ao Contraste Espacial

Nosso estudo mostra uma significativamente maior sensibilidade ao contraste para as frequências espaciais de 2,0; 8,3 e 14,5 cpg no grupo de sujeitos mais novos (Grupo I) quando comparados aos grupos de sujeitos com idades maiores (Grupos II e III). Este resultado sugere que na faixa etária do Grupo I (6 a 15 anos) a capacidade de discriminar contraste já está desenvolvida e se encontra no ápice de sua funcionalidade. Podemos então sugerir que, progressivamente, a sensibilidade ao contraste para estas frequências diminui com a idade.

Nossos resultados diferem dos resultados encontrados por Elleberg (Elleberg et al., 1999) e por Bradley (Bradley & Freeman, 1982). Nestes estudos, os autores não encontraram diferenças estatísticas entre os resultados de dois grupos: um grupo de crianças com 7 anos de idade com outro grupo formado por adultos jovens. Nesta comparação podemos ainda indicar que outra diferença marcante é que estes trabalhos avaliaram apenas 2 grupos de idades enquanto o nosso estudo avaliou uma faixa contínua de idades entre 6 e 57 anos. Isso nos permite analisar mais precisamente o desenvolvimento da sensibilidade, uma vez que cobrimos as idades da infância, adolescência, idade adulta e maturidade.

Embora não tenhamos encontrado diferenças estatísticas entre os valores de sensibilidade ao contraste medidos nos Grupos II e III, há uma nítida tendência de piora desta função para os sujeitos mais velhos (GIII), já que eles apresentam um valor médio de sensibilidade ao contraste menor do que o dos outros dois grupos mais jovens. Este resultado já se poderia ser esperado, uma vez que alterações fisiológicas decorrentes do envelhecimento como, por exemplo, a diminuição do número de fotorreceptores na

mácula, pior da qualidade óptica do olho, levam a redução das funções visuais, como, a acuidade visual (Weymouth & Hines, 1960). No entanto, nosso grupo III apresenta sujeitos com uma idade média de 41,8 anos e tais efeitos do envelhecimento são esperados para sujeitos com idade ao redor de 60 anos (Ball, 2002). Uma das hipóteses para nosso resultado já mostrar esta piora na sensibilidade ao contraste em um grupo mais jovem 20 anos, do que o descrito pela literatura, pode se dever ao fato de usarmos um método que nos permita medir limiares com uma precisão e confiabilidade maior. Outra possibilidade pode se dever a alterações fisiológicas diferentes, inerentes entre as duas populações.

Uma continuidade desse estudo com o aumento do número de avaliações principalmente para o Grupo III seria interessante para sanar alguns pontos: 1) verificar se os resultados obtidos até o momento se mantêm, ou se haverá uma diferença estatística quando o número de sujeitos estiver se assemelhado; 2) expandir a faixa etária avaliada, buscando sujeitos com idades acima de 57 anos 3) incluir sujeitos com idades entre 15 e 18 anos, uma lacuna etária existente em nosso trabalho. Tais modificações promoveriam uma expansão da cobertura da faixa etária e uma possível reclassificação das faixas que compõe cada grupo.

Os efeitos preliminares de uma tendência à diferença entre os resultados obtidos no Grupo II e III, que se mostraram evidentes, poderiam ser explicados pela deterioração da sensibilidade ao contraste, pelo menos em parte, decorrentes das alterações fisiológicas que ocorrem com o envelhecimento. Estas alterações podem ser de origem óptica, principalmente da córnea e do cristalino, levando a um aumento da opacidade óptica, do espalhamento de luz sobre a retina e da absorção de luz pelos meios oculares (Ball, 2002). Miose senil leva a um aumento de difração, além da redução de iluminância e contraste na retina. Alterações também são de origem neural

como a redução na densidade de fotopigmentos nos fotorreceptores, perda gradual dos fotorreceptores na fóvea e alterações nas propriedades elétricas dos fotorreceptores que se tornam menos responsivos à luz, além de mudanças nos neurotransmissores e perda de células também são relatadas nos estudos de envelhecimento visual (Ball, 2002).

Os estudos de (Atkinson, Braddick, & Moar, 1977; Banks & Salapatek, 1976; Ellemberg et al., 1999; Swanson & Birch, 1990) mostram que o painel sobre o conhecimento do desenvolvimento da sensibilidade ao contraste, bastante estudado pelas ciências visuais, ainda está indefinido, embora haja uma concordância a respeito da imaturidade da sensibilidade ao contraste espacial e temporal, alguns apontando um total desenvolvimento na faixa dos 6-7 anos (Atkinson et al., 1977; Banks & Salapatek, 1976; Ellemberg, 1999), enquanto outros ainda mostram um ativo processo de maturação (Swanson & Birch, 1990). Vários trabalhos de sensibilidade ao contraste, com enfoque em crianças da primeira infância mostraram que as funções de sensibilidade ao contraste espacial e temporal, são imaturas nessa fase. Esses estudos avaliaram crianças com idades semelhantes entre si, em torno dos 4 meses de idade e, por uma série de medidas consecutivas, observaram que há um grande desenvolvimento até os 4 anos de idade, embora ainda não alcancem os valores de adultos (Atkinson et al., 1977; Banks & Salapatek, 1976; Hartmann & Banks, 1992).

Entretanto estudos com crianças mais velhas apresentam resultados muito diferentes entre si. Enquanto alguns estudos mostram que a função de sensibilidade ao contraste para crianças com idade entre 8 e 15 anos ainda apresentam valores inferiores ao adulto. (Arundale, 1978; Gwiazda et al., 1997) outros mostram que crianças entre 6 e 10 anos de idade apresentam valores sensibilidade ao contraste semelhantes ao de adultos (Derefeldt et al., 1979; Mayer, 1977b). Nossos dados vêm contribuir com esta literatura, porém, mostram que os valores de sensibilidade ao contraste são

estatisticamente maiores dos que os obtidos nos adultos jovens e nos maduros indicando que o desenvolvimento já ocorreu na faixa de idade do grupo I (6-15anos).

Outras pesquisas não conseguiram estabelecer a que idade em que os valores de sensibilidade ao contraste espacial assemelharam-se aos valores de adultos (Mayer, 1977b; Scharre, Cotter, Block, & Kelly, 1990; Tytla, Maurer, Lewis, & Brent, 1988). Com o aumento do número de sujeitos talvez possamos redistribuir os grupos considerando faixas menores de idade para cada e, com isso, melhorar nossa capacidade de identificar uma faixa mais estreita na qual os valores de sensibilidade ao contraste se assemelham aos dos adultos.

Nosso trabalho vem colaborar para o entendimento de como esta função se comporta ao longo da vida humana. Grande parte dos estudos de desenvolvimento foi realizada em bebês e crianças com até a idade escolar (Campbell & Robson, 1968; Ellemberg et al., 1999). Nossos resultados apresentam seu foco em estágios mais avançados da infância e percorrem as idades até a adulta pré-presbiopia. Uma continuidade desse estudo com o intuito de ampliar as faixas etárias, possibilitará estudar um quadro mais completo, envolvendo, inclusive, as idades da senilidade.

Sensibilidade ao Contraste Temporal

Diferenças estatísticas do Grupo I em relação aos grupos II e III foram encontradas para a frequência temporal de 2,5Hz. Para a frequência de 5 Hz os resultados de sensibilidade ao contraste foram mais baixos para o Grupo III em comparação aos Grupos I e II. Para a frequência de 10 Hz os resultados apresentados mostram uma tendência de queda do Grupo III quando comparado aos Grupos I e II. Nossos resultados permitem evidenciar que crianças entre 6-15 anos já apresentam valores de sensibilidade para todas as frequências avaliadas, semelhantes aos dos

adultos. Este resultado sugere fortemente que a maturação da função já ocorreu nesta idade. O ponto seguinte mostra que, embora nosso grupo III tenha participantes com idade média de 41,8 anos, há um declínio da sensibilidade ao contraste processada a 5 Hz e uma tendência a esse declínio na sensibilidade ao contraste processada a 10 Hz.

Nossos resultados se assemelham dos achados de Ellemberg al (1999), que pesquisou tanto os valores de sensibilidade ao contraste temporal quanto a idade pesquisada semelhantes as nossas. Seus resultados mostram que para idade a partir dos 7 anos, a criança já apresenta maturidade na sensibilidade ao contraste temporal para todas as frequências estudadas. Seus resultados também mostram que o período de maturação entre a sensibilidade ao contraste espacial e temporal é diferente. Para sensibilidade ao contraste temporal, a partir dos 4 anos já existe uma maturação das frequências altas (30 Hz) e para a sensibilidade ao contraste espacial a penas após os 7 anos ocorre a maturação das frequências espaciais.

O fato de termos encontrados valores semelhantes aos de Ellemberg (1990) mostra uma adequação metodológica para a análise desta função nestes grupos etários.

Avaliação das Vias Visuais

Não encontramos diferenças estatísticas para os resultados obtidos nos quatro protocolos de sensibilidade ao contraste aplicado com a intenção de se analisar os efeitos das contribuições das vias magnocelulares e parvocelulares para a sensibilidade ao contraste.

No entanto, observamos que para ambas as idades, os valores médios de sensibilidade ao contraste são maiores para os obtidos pelo subgrupo Off do que pelo subgrupo On, tanto para o protocolo que dá preferência a via Magnocelular quanto para o que dá preferência a via Parvocelular. Tal resultado está de acordo com os obtidos na

literatura (Bowen, Pokorny, & Smith, 1989; Kremers, Lee, Pokorny, & Smith, 1993; Purkiss & DeMarco, 2002; Schiller, Sandell, & Maunsell, 1986) que mostram uma maior sensibilidade aos decrementos do que para os incrementos de luz, processados pelo nosso sistema visual.

O fato de não haver diferença estatística entre os resultados de ambos os grupos sugere um dado importante sobre o desenvolvimento do sistema visual: a preferência para decrementos de luz não se altera com o envelhecimento. Este resultado nos parece inédito, uma vez que não encontramos na literatura, estudo que apontem para a mesma conclusão.

Limites de Normalidade

Limites de Tolerância foram obtidos visando a determinação de faixas de normalidade para os valores de sensibilidade ao contraste, o que possibilitará a aplicação em futuros protocolos de pesquisa aplicada, envolvendo patologias ou diferentes condições de saúde.

A alta variabilidade nas medidas, principalmente para os grupos com menos sujeitos, inviabilizou a determinação destas faixas por método paramétrico. No entanto, de acordo com (Somerville, 1958), os limites de Tolerância também podem ser obtidos para distribuições de dados não normais. Vale ressaltar que um aumento de sujeitos testados poderá nos dar condições de realizarmos o estabelecimento da faixa de valores normais, seguindo os critérios de Dixon e Massey (1969).

De qualquer forma, os valores normativos baseados em Percentil nos fornecem um parâmetro do quanto devemos esperar uma variação na população

Conclusão

Os objetivos propostos foram respondidos. Avaliamos com sucesso a Sensibilidade ao Contraste Espacial e Temporal para todas as faixas etárias e, assim, conseguimos ter acesso ao desenvolvimento desta função, entre as idades de 6 e 57 anos. Valores normativos para as tais funções foram estabelecidos por metodologia não-paramétrica. O estudo da contribuição das vias Magnocelular e Parvocelular não pode ser conclusivo, porém os achados mostraram uma maior sensibilidade para o decrémente de luz o que corrobora com a literatura.

Referência Bibliográfica

Abramov, I., Gordon, J., Hendrickson, A., Hainline, L., Dobson, V., & Labossiere, E. (1982). The retina of the newborn human infant. *Science*, 217, 265-267.

Abramov, I., Hainline, L., Turkel, J., Lemerise, E., Smith, H., Gordon, J. et al. (1984). Rocket ship psychophysics: assessing visual function in young children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 25, 1307-1315.

Adams, R. J. & Courage, M. L. (1993). Contrast sensitivity in 24-month-olds and 36-month-olds as assessed with the contrast sensitivity card procedure. *Optometry and Vision Science*, 70, 97-101.

Adams, R. J. & Courage, M. L. (2002). Using a single test to measure human contrast sensitivity from early childhood to maturity. *Vision Research*, 42, 1205-1210.

Adams, R. J., Mercer, M. E., Courage, M. L., & Vanhofvanduin, J. (1992). A new technique to measure contrast sensitivity in human infants. *Optometry and Vision Science*, 69, 440-446.

Amesbury, E. C. & Schallhorn, S. C. (2003). Contrast sensitivity and limits of vision. *International Ophthalmology Clinics*, 43, 31-42.

Apkarian, P. (1993). Temporal frequency responsivity shows multiple maturational phases - state-dependent visual-evoked potential luminance flicker fusion from birth to 9 months. *Visual Neuroscience*, 10, 1007-1018.

Arundale, K. (1978). Investigation into variation of human contrast sensitivity with age and ocular pathology. *British Journal of Ophthalmology*, 62, 213-215.

Formatado: Inglês (EUA)

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Atkinson, J., Braddick, O., & Braddick, F. (1974). Acuity and contrast sensitivity of infant vision. *Nature*, 247, 403-404.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Atkinson, J., Braddick, O., & Moar, K. (1977). Development of contrast sensitivity over the first 3 months of life in human infant. *Vision Research*, 17, 1037-1044.

Balboa, R. M. & Grzywacz, N. M. (2000). Occlusions and their relationship with the distribution of contrasts in natural images. *Vision Research*, 40, 2661-2669.

Ball, K. A. (2002). The aging visual system. In Elsevier Science (Ed.), *The Psychophysical Measurement of Visual Function* (pp. 309-321). United State of America: Pioli,S.F.

Banks, M. S. & Salapatek, P. (1976). Contrast sensitivity function of infant visual-system. *Vision Research*, 16, 867-869.

Banks, M. S., Stephens, B. R., & Hartmann, E. E. (1985). The development of basic mechanisms of pattern vision - spatial-frequency channels. *Journal of Experimental Child Psychology*, 40, 501-527.

Benoff, K., Fitzgerald, K., Zemon, V., Pinkhasov, E., Gordon, J., & Cibis, G. (2001). Magnocellular ON-pathway deficits in Duchenne muscular dystrophy: A visual evoked potential study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 42, S787.

Bex, P. J. & Makous, W. (2002). Spatial frequency, phase, and the contrast of natural images. *Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision*, 19, 1096-1106.

Bi, J. & Ennis, D. M. (1998). Sensory thresholds: Concepts and methods. *Journal of Sensory Studies*, 13, 133-148.

BLAKEMORE, C. & Campbell, F. W. (1969). On existence of neurones in human visual system selectively sensitive to orientation and size of retinal images. *Journal of Physiology-London*, 203, 237-&.

Boothe, R. G., Williams, R. A., Kiorpes, L., & Teller, D. Y. (1980). Development of contrast sensitivity in infant macaca-nemestrina monkeys. *Science*, 208, 1290-1292.

Bour, L. J. & Apkarian, P. (1996). Selective broad-band spatial frequency loss in contrast sensitivity functions - Comparison with a model based on optical transfer functions. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 37, 2475-2484.

Bowen, R. W., Pokorny, J., & Smith, V. C. (1989). Sawtooth contrast sensitivity - decrements have the edge. *Vision Research*, 29, 1501-1509.

Boycott, B. B. & Wässle, H. (1991). Morphological classification of bipolar cells of the primate retina. *European Journal of Neuroscience*, 3, 1069-1088.

Bradley, A. & Freeman, R. D. (1982). Contrast sensitivity in children. *Vision Research*, 22, 953-959.

Campbell, F. W. (1974). Contrast and spatial frequency. *Scientific American*, 231, 106-&.

Campbell, F. W. & Robson, J. G. (1968). Application of Fourier analysis to visibility of gratings. *Journal of Physiology-London*, 197, 551-&.

Castelo-Branco, M., Mendes, M., Silva, F., Massano, J., Januario, G., Januario, C. et al. (2009). Motion integration deficits are independent of magnocellular impairment in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 47, 314-320.

Chalupa, L. M. & Gunhan, E. (2004). Development of On and Off retinal pathways and retinogeniculate projections. *Progress in Retinal and Eye Research*, 23, 31-51.

Charman, W. N. (1991). Wave-front aberration of the eye - a review. *Optometry and Vision Science*, 68, 574-583.

Coren, S., Ward, L. M., & Enns, J. T. (2004a). Brightness and color. In D.K.FREEDHEIN & I. B. WEINER (Eds.), *Sensation and Perception* (sixth edition ed., pp. 80-115). United State of America: John Wiley & Sons,inc.

Coren, S., Ward, L. M., & Enns, J. T. (2004b). Measuring perception. In D.K.FREEDHEIN & I. B. WEINER (Eds.), *Sensation and Perception* (Sixth Edition ed., pp. 13-42). United State of America: John Wiley & Sons,inc.

Coren, S., Ward, L. M., & Enns, J. T. (2005). *Sensation and perception*. (sixth edition ed.) MA: John Wiley & Sons.

Cornsweet, J. M. (1970). *Visual perception*. New York,NY: Academic Press.

Costa, M. F. (2004). Perdas de função visual na distrofia muscular de Duchenne: visão de cores e visão de contrastes de luminância temporal e espacial. Tese de Doutorado.Instituto de Psicologia,Universidade de São Paulo, São Paulo.

Costa, M. F. (2009). Avaliação visual de sujeitos com prejuízo na leitura: contribuições da psicofísica visual. *Neurociências*, 5, 103-108.

Costa, M. F. & Ventura, D. F. (2005). Contribuição dos sistemas retinianos on e off na sensibilidade ao contraste. In FeSBE 2005, On-line.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Dacey, D. M. (2000). Parallel pathways for spectral coding in primate retina. Annual Review of Neuroscience, 23, 743-775.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

De Valois, R. L. & Morgan, H. (1974). Psychophysical studies of monkey vision-III. spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers. Vision Research, 14, 75-81.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Derefeldt, G., Lennerstrand, G., & Lundh, B. (1979). Age Variations in Normal Human Contrast Sensitivity. Acta Ophthalmologica, 57, 679-690.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Derrington, A. M. & Lennie, P. (1984). Spatial and temporal contrast sensitivities of neurones in lateral geniculate nucleus of macaque. Journal of Physiology-London, 357, 219-240.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Dickson, R., Eastwood, A., Gill, P., Melville, A., OMeara, S., & Sheldon, T. (1996). Management of cataract. Quality in Health Care, 5, 180-185.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Dixon, W. J. & Massey F.J. (1969). Introduction to statistical analysis. (4th ed.) New York: Mc Graw-Hill.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Dong, D. W. & Atick, J. J. (1995). Statistics of natural time-varying images. Network-Computation in Neural Systems, 6, 345-358.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Donner, K. & Hemila, S. (1996). Modelling the spatio-temporal modulation response of ganglion cells with difference-of-Gaussians receptive fields: Relation to photoreceptor response kinetics. Visual Neuroscience, 13, 173-186.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Ellemberg, D., Lewis, T. L., Liu, C. H., & Maurer, D. (1999). Development of spatial and temporal vision during childhood. *Vision Research*, 39, 2325-2333.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Enroth.Cugell, C. & R. J. (1966). The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. *Journal of Physiology-London*, 187, 517-552.

Goldstein, E. B. (2001). *Sensation & perception*. MA: Blachwell.

Greene, H. A. & Madden, D. J. (1987). Adult age-differences in visual-acuity, stereopsis, and contrast sensitivity. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 64, 749-753.

Gualtieri, M. (2009). Avaliação funcional da visão de pacientes diabéticos em estados pré e pós retinopatia diabética. IP USP.

Gualtieri, M., Bandeira, M., Hamer, R. D., Costa, M. F., Oliveira, A. G. F., Moura, A. L. A. et al. (2008). Psychophysical analysis of contrast processing segregated into magnocellular and parvocellular systems in asymptomatic carriers of 11778 Leber's hereditary optic neuropathy. *Visual Neuroscience*, 25, 469-474.

Formatado: Inglês (EUA)

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Gwiazda, J., Bauer, J., Thorn, F., & Held, R. (1997). Development of spatial contrast sensitivity from infancy to adulthood: Psychophysical data. *Optometry and Vision Science*, 74, 785-789.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Hammarrenger, B., Lepore, F., Lippe, S., Labrosse, M., Guillemot, J. P., & Roy, M. S. (2003). Magnocellular and parvocellular developmental course in infants during the first year of life. *Documenta Ophthalmologica*, 107, 225-233.

Formatado: Fonte: Não Itálico, Inglês (EUA)

Formatado: Inglês (EUA)

Hartmann, E. E. & Banks, M. S. (1992). Temporal contrast sensitivity in human Infants. *Vision Research*, 32, 1163-1168.

Harvey, E. M. (2009). Development and treatment of astigmatism-related amblyopia. *Optometry and Vision Science*, 86, 634-639.

Home, W. G. (2010). Two-sided tolerance limits for normal populations- some improvements. *Journal of the Americal Statistical Association*, 64, 610-620.

Huttenlocher, P. R., Decourten, C., Garey, L. J., & Vanderloos, H. (1982). Synaptogenesis in human visual-cortex - evidence for synapse elimination during normal development. *Neuroscience Letters*, 33, 247-252.

Kremers, J., Lee, B. B., & Kaiser, P. K. (1992). Sensitivity of macaque retinal ganglion-cells and human observers to combined luminance and chromatic temporal-modulation. *Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision*, 9, 1477-1485.

Kremers, J., Lee, B. B., Pokorny, J., & Smith, V. C. (1993). Responses of macaque ganglion-cells and human observers to compound periodic wave-forms. *Vision Research*, 33, 1997-2011.

Kuffler, S. W. (1953). Discharge patterns and functional organization of mammalian retina. *Journal of Neurophysiology*, 16, 37-68.

Kwon, M. Y., Legge, G. E., Fang, F., Cheong, A. M. Y., & He, S. (2009). Adaptive changes in visual cortex following prolonged contrast reduction. *Journal of Vision*, 9.

Lee, B. B. (2004). Paths to colour in the retina. *Clinical and Experimental Optometry*, 87, 239-248.

Lee, B. B., Martin, P. R., & Valberg, A. (1989a). Amplitude and phase of responses of macaque retinal ganglion-cells to flickering stimuli. *Journal of Physiology-London*, 414, 245-263.

Lee, B. B., Martin, P. R., & Valberg, A. (1989b). Sensitivity of macaque retinal ganglion-cells to chromatic and luminance flicker. *Journal of Physiology-London*, 414, 223-243.

Livingstone, M. & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth - anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240, 740-749.

Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88, 7943-7947.

Maffei, L. & Fiorentini, A. (1972). Processes of synthesis in visual perception. *Nature*, 240, 479-481.

Mantjarvi, M. & Tuppurainen, K. (1999). Cataract in traffic. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 237, 278-282.

Martin, P. R., White, A. J. R., Goodchild, A. K., Wilder, H. D., & Sefton, A. E. (1997). Evidence that blue-on cells are part of the third geniculocortical pathway in primates. *European Journal of Neuroscience*, 9, 1536-1541.

Mates, S. L. & Lund, J. S. (1983). Developmental-changes in the relationship between type-2 synapses and spiny neurons in the monkey visual-cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 221, 98-105.

Mayer, M. J. (1977). Development of anisotropy in late childhood. *Vision Research*, 17, 703-710.

Meijler, A. P. & Van den Berg, T. J. T. P. (1976). High contrast sensitivity in babies, found using an eye movement reflex. *Documenta Ophthalmologica Proceedings Series*, 31, 229-235.

Mirabella, G., Westall, C. A., Asztalos, E., Perlman, K., Koren, G., & Rovet, J. (2005). Development of contrast sensitivity in infants with prenatal and neonatal thyroid hormone insufficiencies. *Pediatric Research*, 57, 902-907.

Nes, F. L. V. & Bouman, M. A. (1967). Spatial modulation transfer in the human eye. *Journal of the Optical Society of America*, 57, 401-406.

Norcia, A. M., Tyler, C. W., & Allen, D. (1986). Electrophysiological assessment of contrast sensitivity in human infants. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 63, 12-15.

Norcia, A. M., Tyler, C. W., & Hamer, R. D. (1990). Development of contrast sensitivity in the human infant. *Vision Research*, 30, 1475-1486.

Norton, T. T., Corliss, D. A., & Bailey, J. E. (2002a). Principles of psychophysical measurement. In Elsevier Science (Ed.), *The Psychophysical Measurement of Visual Function* (pp. 1-32). Woburn: Pioli, S.F.

Norton, T. T., Corliss, D. A., & Bailey, J. E. (2002b). Temporal factors in vision. In Elsevier Science (Ed.), *The Psychophysical Measurement of Visual Function* (pp. 177-216). United State of America: Pioli, S.F.

Oliveira, A. G. F. (2007). Desenvolvimento das funções de acuidade visual e sensibilidade ao contraste visual medidas por potenciais visuais provocados de varredura em crianças nascidas a termo e prematuras. Tese de Doutorado. Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Oliveira, A. G. F., Costa, M. F., de Souza, J. M., & Ventura, D. F. (2004). Contrast sensitivity threshold measured by sweep-visual evoked potential in term and preterm infants at 3 and 10 months of age. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 37, 1389-1396.

Perry, V. H., Oehler, R., & Cowey, A. (1984). Retinal ganglion-cells that project to the dorsal lateral geniculate-nucleus in the macaque Monkey. *Neuroscience*, 12, 1101-1123.

Purkiss, T. J. & DeMarco, P. J. (2002). Adaptation of spatiotemporal mechanisms by increment and decrement stimuli. *Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision*, 19, 1475-1483.

Rakic, P. (1977). Genesis of dorsal lateral geniculate-nucleus in Rhesus-Monkey - site and time of origin, kinetics of proliferation, routes of migration and pattern of distribution of neurons. *Journal of Comparative Neurology*, 176, 23-52.

Rasengane, T. A., Allen, D., & Manny, R. E. (1997). Development of temporal contrast sensitivity in human infants. *Vision Research*, 37, 1747-1754.

Regal, D. M. (1981). Development of critical flicker frequency in human infants. *Vision Research*, 21, 549-555.

Rossing, T. D. (1990). The science of sound. (2nd ed.) Addison-Wesley Publishing Company.

Rovamo, J. M., Kankaanpää, M. I., & Kukkonen, H. (1999). Modelling spatial contrast sensitivity functions for chromatic and luminance-modulated gratings. *Vision Research*, 39, 2387-2398.

Salomão, S. R. & Ventura, D. F. (1995). Large-sample population age norms for visual acuities obtained with Vistech-Teller Acuity Cards. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 36, 657-670.

Santos, N. A. and Simas, M. L. B. (2001). Função da sensibilidade ao contraste: indicador da percepção visual da forma e da resolução espacial. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 14, 589-597.

Schade, O. H. (1956). Optical and photoelectric analog of the eye. *Journal of the Optical Society of America*, 46, 721-739.

Scharre, J. E., Cotter, S. A., Block, S. S., & Kelly, S. A. (1990). Normative contrast sensitivity data for young-children. *Optometry and Vision Science*, 67, 826-832.

Schiller, P. H., Sandell, J. H., & Maunsell, J. H. R. (1986). Functions of the on and Off Channels of the Visual-System. *Nature*, 322, 824-825.

Schwartz, S. H. (2004). *Visual Perception a clinical orientation*. (terceira ed.).

Schwiegerling, J. (2000). Theoretical limits to visual performance. *Survey of Ophthalmology*, 45, 139-146.

Shapley, R., Kaplan, E., & Purpura, K. (1993). Contrast sensitivity and light adaptation in photoreceptors or in the retinal network. (vols. 5) Cambridge, Mass.: MIT Press.

Silveira, L. C. L., Sato, C. A., Mello, H. D., Silveira, V. A., Souza, G. S., Rodrigues, A. R. et al. (2008). Division of labor between M and P visual pathway: different visual pathways minimize joint entropy. *Psychology & Neuroscience*, 1, 3-14.

Silveira, L. C. L. & Perry, V. H. (1991). The topography of magnocellular projecting ganglion-cells (M-ganglion cells) in the primate retina. *Neuroscience*, 40, 217-237.

Silveira, L. C. L., Picancodiniz, C. W., & Oswaldocruz, E. (1982). Contrast sensitivity function and visual-acuity of the opossum. *Vision Research*, 22, 1371-1377.

Silveira, L. C. L. & D. M. Jr. H. D. (1998). Parallel pathway of primate vision: sampling of information in the Fourier space by M and P cells. In L.M.Chalupa & B.M.Finlay (Ed.), *Development and Organization of the Retina: From Molecules to Function* (pp. 173-199). New York, USA.

Skoczenski, A. M. & Norcia, A. M. (1998). Neural noise limitations on infant visual sensitivity. *Nature*, 391, 697-700.

Somerville, P. N. (1958). Tables for obtaining non-parametric tolerance limits. *The Annals of Mathematical Statistics*, 599-600.

Souza, G. S., Gomes, B. D., Silva, M. F., and Silveira, L. C. L (2009). Avaliação da sensibilidade ao contraste através da eletroencefalografia de eventos. *Neurociências*, 5, 92-102.

Swanson, W. H. & Birch, E. E. (1990). Infant spatiotemporal vision - dependence of spatial contrast sensitivity on temporal frequency. *Vision Research*, 30, 1033-&.

Treutwein, B. (1995). Adaptive psychophysical procedures. *Vision Research*, 35, 2503-2522.

Tyler, C. W. & Hamer, R. D. (1990). Analysis of visual modulation sensitivity .4. validity of the Ferry-Porter law. *Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision*, 7, 743-758.

Tytla, M. E., Maurer, D., Lewis, T. L., & Brent, H. P. (1988). Contrast sensitivity in children treated for congenital cataract. *Clinical Vision Sciences*, 2, 251-264.

Van Wyk, M., Wassle, H., & Taylor, W. R. (2009). Receptive field properties of ON- and OFF-ganglion cells in the mouse retina. *Visual Neuroscience*, 26, 297-308.

Ventura, D. F., Quiros, P., Carelli, V., Salomao, S. R., Gualtieri, M., Oliveira, A. G. F. et al. (2005). Chromatic and luminance contrast sensitivities in asymptomatic carriers from a large Brazilian pedigree of 11778 Leber hereditary optic neuropathy. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46, 4809-4814.

Weymouth, F. W. & Hines, D. A. L. (1960). Visual acuity within the area centralis and its relation to eye movements and fixation. *American Journal of Ophthalmology*, 11, 947-960.

Wiesel, T. N. & Hubel, D. H. (1966). Spatial and chromatic interactions in lateral geniculate body of Rhesus monkey. *Journal of Neurophysiology*, 29, 1115-&.

Xu, X. M., Ichida, J. M., Allison, J. D., Boyd, J. D., Bonds, A. B., & Casagrande, V. A. (2001). A comparison of koniocellular, magnocellular and parvocellular receptive field properties in the lateral geniculate nucleus of the owl monkey (*Aotus trivirgatus*). *Journal of Physiology-London*, 531, 203-218.

Yeh, T. Y., Lee, B. B., & Kremers, J. (1996). The time course of adaptation in macaque retinal ganglion cells. *Vision Research*, 36, 913-931.

Yucel, Y. H., Zhang, Q. A., Weinreb, R. N., Kaufman, P. L., & Gupta, N. (2003). Effects of retinal ganglion cell loss on magno-, parvo-, koniocellular pathways in the lateral geniculate nucleus and visual cortex in glaucoma. *Progress in Retinal and Eye Research*, 22, 465-481.

Anexos

Resumo dos dados de desenvolvimento da Sensibilidade ao Contraste Espacial e Temporal

Autor	Função Medida	Desenvolvimento
Adams & Courage (2002)	SCe	completa aos 9 anos
Swanson&Birck (1990)	SCe	imatura entre 6-7 anos
Ellemborg et al (1990)	SCe	completa aos 7 anos
Norcia et all (1990)	SCe	desenvolvida acima das 9 semanas de vida
Bradley & Freeman (1982)	SCe	completa aos 7 anos
Arrundale (1978)	SCe	imatura entre 8-15 anos
Atkinson et al (1977)	SCe	completa aos 7 anos
Derefeldet et al (1977)	SCe	completa entre 6 e 10 anos
Regal (1981)	SCt	2 meses
Apkarian (1993)	SCt	após 5 meses
Ellemborg et al (1990)	SCt	4 anos

ANEXO II

GRUPO I

N	Idade	Sensibilidade ao Contraste Espacial					Sensibilidade ao Contraste Temporal				Parvo On	Parvo Off	Magno On	Magno Off
		0,5cpg	2,0cpg	8,3cpg	14,5cpg		2,5Hz	5,0Hz	10Hz	20Hz	4,5cpg	4,5cpg	0,5cpg	0,5cpg
1	10	52,60	195,00	132,00	41,32		16,74	23,46	36,99	34,64	20,05	22,23	90,75	67,53
2	11	62,02	170,00	126,00	63,57		30,27	29,28	71,87	31,26	23,83	79,83	73,13	199,00
3	6	45,60	172,00	115,00	54,15		17,52	35,77	59,67	39,14	37,02	46,36	64,04	80,95
4	8	44,38	294,00	162,00	50,62		23,15	38,34	47,48	23,23	25,95	28,46	113,00	73,86
5	8	80,52	122	181,00	88,09		24,63	61,18	72,61	29,46	50,29	46,30	75,23	92,38
6	15	71,71	178,00	139,00	40,15		22,61	34,72	43,49	26,63	36,64	48,57	94,28	80,22
7	8						32,96	277,00	112,00	29,94	150,00	95,35	192,00	158,00
8	6	96,67	239,00	237,00	44,35		281,00	292,00	106,00	75,31	31,03	46,63	113,00	38,07
9	13	37,82	124	190,00	49,04		87,99	63,55	50,07	94,06	60,38	62,43	65,49	144,00
10	12	28,41	129,00	150,00	41,83		25,02	16,08	27,03	13,87	34,02	67,17	41,89	112,00
11	11	71,84	170,00	138,00	41,50		74,46	93,91	54,20	39,98	31,77	81,31	39,81	67,08
12	6	49,10	240,00	149,00	72,91		29,75	43,27	44,12	26,26	59,31	42,37	154,00	80,22
13	12	47,41	173,00	166,00	77,85		32,98	24,84	28,28	40,05	27,84	31,35	83,67	98,87
14	6										169,00	95,00	133,00	156,00
15	9						76,33	95,00	88,05	73,04	228,00	126,00		
16	15	32,77	195,35	123,00	54,42		75,02	45,41	52,37	44,32	34,72	94,88	60,05	191,00
17	7	36,70	151,00	134,00	45,36		21,27	32,78	30,82	19,85	37,74	32,34	91,71	79,32
18	8	38,02	240,00	189,00	78,89		13,67	77,43	40,19	26,30	49,18	34,34	78,09	172,00
19	12						19,12	84,82	49,30	23,45	65,84	99,85	72,48	65,87
20	10	56,57	133,00	201,00	88,17		146,00	45,41	84,86	40,71	66,64	63,28	69,27	80,95
21	10						24,98	53,40	86,82	35,43	43,91	33,09	53,61	66,60
22	7	255,00		126,00	63,57		54,88	57,03	39,36	19,01	53,78	108,00		
23	6	55,26	133,00	130,00	26,77						28,32	22,58	103,00	90,84
24	6	33,95	107,00	130,00	77,00		15,86	22,95	36,13	17,08	37,82	29,52	57,28	65,64
25	10	82,60	133	112,00	47,00		59,03	58,28	88,06	98,55	76,83	105,00	136,00	62,15
26	10	60,07	214,00	182,00	78,83		19,23	22,94	29,12	15,14	33,45	34,55	86,05	89,38
27	7	70,23	284,00	173,00	65,22		25,90	43,18	38,76	35,66	71,52	78,95	74,37	131,00
28	7	77,72	132	192,00	88,92		28,95	57,56	49,43	28,33	77,00	28,46	139,00	98,37

ANEXO III
GRUPO II

N	Idade	Sensibilidade ao Contraste Espacial					Sensibilidade ao Contraste Temporal				Parvo On		Parvo Off		Magno On		Magno Off	
		0,5cpg	2,0cpg	8,3cpg	14,5cpg		2,5hz	5,0Hz	10Hz	20Hz	4,5cpg		4,5cpg		0,5cpg		0,5cpg	
1	21	28,91	158,00	157,00	58,39		11,29	19,55	30,88	26,54	23,05		86,14		124,00		190,00	
2	28	50,55	135,00	110	13,11		33,25	54,63	88,45	16,07	56,23		21,83		116,00		49,55	
3	26	53,72	100,00	87,98	55,03		17,52	36,13	46,29	24,58	45,48		126,00		71,76		151,00	
4	28	29,41	80,22	92,90	27,66		10,63	22,68	33,61	20,02	25,95		71,37		46,82		179,00	
5	26	25,62	84,82	90,39	28,01						24,58		76,49		168,00		66,46	
6	20	63,62	199,00	127,00	27,64		28,66	51,85	65,81	28,09	119,00		198,00		168,00		120,00	
7	24	55,6	133,00	38,95	52,08		30,27	76,42	76,42	46,39	27,31		24,53		68,25		55,31	
8	22	67,97	245,00	197,00	68,05		37,38	127,00	110,00	41,34	73,69		111,00		130,00		67,98	
9	24	55,60	133,00	38,95	35,03		22,95	52,60	59,25	29,21	60,66		61,87		90,36		84,95	
10	20	30,11	130,00	126,00	51,94		18,11	36,85	51,03	31,88								
11	20	44,89	181,00	149,00	53,52		17,30	32,61	45,03	31,88								
12	22	48,8	216,00	90,39	31,8		32,42	64,98	79,51	31,27	42,31		43,56		46,06		76,49	
13	21	50,03	160,00	144,00	35,50		33,10	65,50	88,50	53,75	45,15		26,69		76,83		73,13	
14	24	23,78	77,73	74,07	23,25		18,40	39,16	46,29	23,63	37,71		31,89		45,56		44,81	
15	25	62,06	168,00	113,00	40,84		50,28	164,00	108,00	31,65	87,43		120		56,16		190,00	
16	23	56,42	123,00	62,16	33,5		55,71	83,94	84,41	43,70	56,22		76,54		110,00		65,74	
17	26	73,38	147,00		40,25		65,94	90,03	108,00	27,76								
18	28	85,28	246,00	110,00	34,72		36,78	72,10	77,72	32,67								
19	19	53,62	238,00	173,00	47,87		33,82	49,04	46,07	22,57								
20	22	49,37	177,00	71,50	15,9		22,22	46,00	50,28	24,85								
21	21	52,24	229,00	189,00	40,84		22,61	40,21	49,63	27,10								
22	20	77,72	320,00	140,00	51,61		43,43	52,09	62,32	24,71								
23	20	73,22	295,00	136,00	26,90		36,99	69,71	119,00	57,26								
24	24	55,6	133,00	38,95	40,84		30,27	58,28	76,42	46,39								
25	29	59,19	122	121	19,22		22,07	56,07	44,89	28,06								
26	26	40,51	100	90,85	40,86		18,88	43,41	75,3	22,02								
27	25	40,26	105	42,76	29,75		28,36	63,14	31,5	75,7								
28	18	39,7	173	43,47	12,94		19,21	69,7	36,33	19,16								
29	17	40,91	111		13,5		16,59	65,76	20,48	12,43								
30	28	74,12	204	59,49	35,15													
31	29	22,93	132	47,97	13,87													
32	23	33,81	75,61	72,6	41,56		45,44	64,33	49,66	31,2								
33	18	41,02	125	60,03	35,17		13,98	66,71	32,19	19,28								
34	30	41,94	119		6,64		28,04	57,03	76,4	25,77								
35	25	39,17	130	127	60,75		43,45	55,07	64,44	27,08								
36	26	54,01	186	65,4	25,72		34	26,79	49,76	28,77								
37	29	29,51	99,52	58,62	29,34		22,76	16,96	27	20,02								
38	23	30,16	93,88	134	27,65		18,01	30,26	36,59	25,78								
39	22	66,64	179	233	30													
40	24	41,54	149	231	98,76		37,85	30,84	33,46	26,09								
41	22	34,93	118	80,07	97,55		21,41	64,48	32	25,78								
42	23	30,16	93,88	134	100		23,91	26,69	44,02	25,08								
43	24	66,64	179	233	96,13		22,61	44,23	6,22	16,02								
44	23	27,44	107	44,89	20,75		27,12	31,17	19,88	25,06								
45	22	41,54	149	231	98,76		10,69	14,72	25,28	15,25								
46	21	27,03	84,86	119	45,59		16,42	26,61	27,87	19,51								
47	22	27,71	91,93	79,88	33,12		15,93	29,95	43,71	30,33								
48	20	43,74	117	186	65,74		13,84	25,46	32,13	35,55								
49	23	27,12	136	52	60,65		21,16	31,15	38,76	34,11								
50	26	52,3	210	238	116		15,08	25,58	37,96	31,65								
51	31	24,53	80,78	153	58,41		12,05	26,99	39,14	27,1								
52	27	56,6	171	259	56,1		19,94	55,16	78,16	44,37								
53	26	52,69	138	164	71,37		41,45	82,32	50,28	21,54								
54	22	34,95	139	210	80,89		31,48	82,9	84,97	45,47								
55	31	92,93	201	233	90,87		12,34	24,58	41,54	23,36								
56	19	42,02	144	283	131		15,2	25,89	24,5									
57	25	29,12	89,75	98,5	46,78													

ANEXO IV

GRUPO III

N	Idade	Sensibilidade ao Contraste Espacial					Sensibilidade ao Contraste Temporal			Parvo On	Parvo Off	Magno On	Magno Off
		0,5cpg	2,0cpg	8,3cpg	14,5cpg	2,5hz	5,0Hz	10Hz	20Hz	4,5cpg	4,5cpg	0,5cpg	0,5cpg
1	34	51,65	169	32,48	24,56	12,07	28,48	44,89	16,81	70,5	70,8	83,1	82,0
2	42	29	87,55	39,7	21,02	13,98	23,085	32,19	19,28	48,2	51,7	93,0	94,9
3	35	15,81	87,63	51,57	20,77	18,88	47,09	75,3	22,02	35,1	40,7	80,0	84,8
4	43	38,98	155	58,28	32,49	28,36	40,63	52,9	31,5	30,5	35,4	77,3	77,7
5	44	23,41	103	45,83	67,37	19,21	27,77	36,33	19,16	32,6	38,9	86,8	120,0
6	35	72,37	226	150	80,27	16,59	18,535	20,48	12,43	32,1	35,7	93,3	83,8
7	39	31,05	208	50,89	20	14,27	20,885	27,5		47,0	45,1	124,0	72,9
8	40	72,35	103,0	51,6	21,0	28	47	20,42	22,01	62,3	70,6	52,6	86,7
9	36	15,62	153,0	45,4	32,5	18,54	28,45	44,01	31,6	31,9	30,5	53,4	63,0
10	38	39,17	87,63	32,48	22,0	15,07	18,54	36,01	22,02	48,0	55,0	127,0	138,0
11	45	38,98	102,0	45,8	32,5	17,02	27,05	20,56	19,28	42,2	59,4	110,0	124,0
12	38	40,02	103,0	51,6	33,5	19,93	20,87	25,5	23,02	31,9	30,5	52,6	63,0
13	43	72,35	104	45,4	32,49	19,01	40,02	32,05	23,02	35,1	38,9	93,3	94,9
14	37	27,44	107	44,89	25	14,24	20,58	30,24	26,09	32,1	36,7	92,7	83,8
15	44	56,81	125	116	50,22	11,65	23,36	22,61	13,05	45,85	127	16,76	41,46
16	49	21,41	60,34	38,95	38,76	6,58	19,55	17,52	11,41	26,09	58,8	10,68	33,66
17	45	30,24	109	84,41	25,82	10,79	36,9	54,95	35,32	40,21	154	13,73	72,73
18	44	42,53	124	100	23,91	23,1	54,29	47,19	53,52	55,54	192	71,37	21,3
19	39	62,26	207	171	70,7	50,35	66,13	53,35	23,79	54	240	42,88	140
20	50	45,6	161	62,32	21,04	39	55,9	68,95	44,82	33,14	118	36,65	130
21	47	50,55	167	137	41,21	33,07	39,39	47,48	43,6	55,52	204	30,26	97,84
22	45	45,3	135	124	37,12	13,82	31,73	46,56	29,36	49,55	119	32,61	84,82
23	57	37,96	142	110	27,58	10,98	19,08	24,89	15,2	32,03	85,69	16,96	55,54
24	36	67,06	256	170	48,37	48,18	86,89	64,68	51,69	147	312	38,96	146

Universidade de São Paulo
Instituto de Psicologia
Departamento de Psicologia Experimental
Setor de Eletrofisiologia e Psicofísica Visual Clínica

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

FACULDADE DE PSICOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE PSICOLOGIA EXPERIMENTAL. SETOR DE
PSICOFÍSICA VISUAL CLÍNICA - LABORATÓRIO DA VISÃO.

Desenvolvimento da Sensibilidade ao Contraste de Luminância Espacial e Temporal

Pesquisadores: Sonia M.C.F. Moreira; Prof^o. Dr. Marcelo F. Costa; Prof^a Dr^a Dora F. Ventura.

Seu(sua) filho(a) está sendo convidado(a) a participar de um estudo que está sendo desenvolvido no Laboratório de Psicofísica e Eletrofisiologia Visual Clínica – Laboratório da Visão. A proposta da pesquisa é obter informações sobre a visão de contraste por meio do teste de sensibilidade ao contraste. O teste de sensibilidade ao contraste consiste no registro dos limiares (menor quantidade visível) de contraste para barras e luz piscante medidos pelas respostas dadas pela criança aos estímulos apresentados na tela do computador. Para a execução deste teste, será colocado um tampão (oclusor) em um dos olhos seu(sua) filho(a). Esse tampão é antialérgico. Durante o exame o voluntário irá permanecer sentado em sala escura e acompanhado de um dos pais ou responsável, quando necessário, enquanto observa um monitor de TV onde listras brancas e pretas (ou luz piscando) serão apresentadas. Será testado apenas um dos olhos com duração de 5 minutos por teste. Sendo realizados três testes no mesmo dia e no mesmo olho (sensibilidade ao contraste espacial, temporal e teste do xadrez), tendo portanto, um tempo total de 15 minutos. No final do teste, uma medida da sensibilidade ao contraste estará disponível. O benefício dado por este teste é a medida da sensibilidade ao contraste espacial e temporal. Ao longo do teste diversos padrões listrados serão apresentadas na tela do computador contendo, em cada apresentação, listras de diferentes larguras até que chegue no limite (limiar) da sensibilidade ao contraste espacial do voluntário. Serão apresentadas também, luzes que piscam, em diferentes velocidades, o que dará a medida da sensibilidade ao contraste temporal. O experimentador irá marcar a resposta do voluntário. Outro benefício desta avaliação será a medida da visão, que será feita anteriormente ao teste de sensibilidade ao contraste, dado por um teste que faz uso de uma tabela de letras, a mesma utilizada pelos oftalmologistas para medir a visão em consulta clínica.

Av: Professor Mello Moraes, 1721 cep : 05508 -900 São Paulo

Tel: (11) 3091-1914 Fax (11)8184357 Email: COSTAMF@USP.BR

Sonia Maria Cipriani Fersura Moreira
Tese de Mestrado

Conforme a resposta dada, o examinador anotar a acuidade visual (o quanto voluntário enxerga). A avaliação será feita para os dois olhos no mesmo dia, porém será avaliado um olho de cada vez, usando-se o tampão antialérgico para ocluir (tampar) o olho que não estiver sendo testado. Este teste tem uma duração total de 3 minutos (avaliação dos dois olhos) e não oferece risco algum.

Os dados serão sigilosos e o nome dos participantes não serão divulgados. Caso ocorra detecção de qualquer problema oftalmológico será feito encaminhamento para o tratamento necessário. Você pode esclarecer suas dúvidas sobre qualquer aspecto deste estudo bem como desistir a qualquer momento em que desejar. A participação no exame é totalmente voluntária.

Deixamos a disposição dos participantes o endereço do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do IPUSP (Av Professor Mello Moraes, 1721, Bloco F, sala 22, Cidade Universitária – São Paulo, SP– fone; (11) 3097-0529), bem como um contato com o pesquisador para qualquer necessidade na Av Professor Mello Moraes, 1721 ; Instituto de Psicologia/ Departamento de Psicologia Experimental fone: 3091.4263

Declaro que, após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que me foi explicado, consinto em participar do presente Projeto de Pesquisa.

_____	____/____/____	_____
Assinatura do Responsável	Data	Assinatura do pesquisador
Nome do Paciente _____		
Nome do Responsável (grau) _____		
Documento de identidade N° _____	Data de nascimento ____/____/____	
Endereço _____	N° _____	Apto _____
Bairro _____	Cidade _____	
CEP _____	Telefone _____	

Av: Professor Mello Moraes, 1721 cep : 05508 -900 São Paulo
Tel: (11) 3091-1914 Fax (11)8184357 Email: COSTAMF@USP.BR

Sonia Maria Cipriani Fersura Moreira
Tese de Mestrado

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA

Of.002-CEPH-IP- 09/02/2009

Senhor Professor,

O Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do IPUSP (CEPH-IP) aprovou as alterações no Projeto de Pesquisa nº 2008.026, intitulado "Avaliação da sensibilidade ao contraste temporal e espacial em crianças com Síndrome de Asperger" a ser desenvolvido por sua orientanda Sonia Maria Cipriani Fersura Moreira, nível Mestrado, junto ao Programa de Pós-Graduação em Psicologia Experimental do Instituto de Psicologia da USP.

Atenciosamente,

Profa. Dra. Ana Maria de Barros Aguirre
Coordenadora do CEPH-IP

Ilmo. Sr.
Prof. Marcelo Fernandes da Costa
Programa de Pós-Graduação em Psicologia Experimental
Instituto de Psicologia da USP

Av. Prof. Mello Moraes, 1721 – Cidade Universitária – 05508-030 – São Paulo – SP – Brasil
Fone: 3031-2965 – Fax: 3097-0529

Sonia Maria Cipriani Fersura Moreira
Tese de Mestrado