ANDRÉ GUSTAVO FERNANDES DE OLIVEIRA

**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 apresentada ao Instituto de
Psicologia da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Doutor em Psicologia

Área de Concentração: Neurociências e
Comportamento

Orientação: Profa. Dra. Dora Selma
Fix Ventura

São Paulo

2007

Agradecimentos

Aos meus queridos pais, Humberto e Vânia, que com grande esforço possibilitaram a realização desta Tese;

Aos meus tios, Liomério e Nélia, pela acolhida em São Paulo fazendo de mim um dos seus;

Ao meu primo Bruno, minha verdadeira família em São Paulo;

À minha namorada Flávia, estímulo para buscar meus principais objetivos;

Aos meus cunhados Élson e Fernanda, que sempre me estimularam, auxiliaram e aconselharam nos momentos mais difíceis;

Aos meus sogros Carlos Henrique e Lúcia, considerados por mim como pais;

À minha orientadora, sempre presente com seus ensinamentos precisos e “abrindo portas” a todo momento;

Ao meu professor Marcelo, idealizador e grande colaborador deste trabalho;

Aos meus professores Adriana, Hamer, Luis Carlos, Nielsy e Solange, pela oportunidade constante de aprendizado e colaboração durante a tese;

A todos os meus amigos de laboratório, e em especial ao Fernando, amigo para todas as horas, e ao Anderson, preciso com suas macros na informática;

Aos funcionários do Instituto de Psicologia da USP, e em especial ao Claudiel, pelos auxílios concedidos durante este trabalho;

Aos funcionários do Hospital Universitário da USP, e em especial professoras Silvia e Edna

Aos Participantes e Responsáveis, pois sem eles não existe ciência!

Apoio Financeiro

FAPESP, processos 03/10342-4 e 05/60064-6

Resumo

A prematuridade ao nascimento é um fator de risco para a visão, podendo causar retinopatia, uma condição em que há descolamento da retina. Retinopatia da prematuridade ocorre em uma parcela relativamente pequena dos recém nascidos prematuros e não sabemos se os demais, cujo desenvolvimento visual é aparentemente normal, seguem de fato o mesmo curso que o observado em bebês nascidos após uma gestação completa, ou se também sofrem algum prejuízo devido ao nascimento prematuro. Alternativamente, estes bebês poderiam ter um desenvolvimento visual acelerado pela sua exposição mais longa ao mundo visual. Para saber se a condição de prematuridade acelera, retarda, ou não altera o desenvolvimento da visão, o presente trabalho comparou o desenvolvimento das funções de acuidade visual e de sensibilidade ao contraste espacial de luminância em bebês nascidos prematuros e a termo. O estudo utilizou o método dos Potenciais Visuais Corticais Provocados de Varredura para examinar essas funções. Possíveis correlações entre os limiares visuais obtidos durante o primeiro ano de vida e idade gestacional, índices de Apgar, e valores de peso ao nascimento, foram examinadas.

Os participantes foram 57 bebês de ambos os sexos encaminhados pelo Hospital Universitário da Universidade de São Paulo, dos quais 31 prematuros e 26 nascidos a termo. As avaliações foram realizadas principalmente em 3 fases do desenvolvimento visual: 4, 6 e 12 meses de vida. Os bebês prematuros tiveram suas idades corrigidas com relação à

idade gestacional para a comparação com os grupos de termos. Um grupo de 14 sujeitos adultos também foi avaliado com os mesmos estímulos visuais.

As avaliações das funções de acuidade visual e sensibilidade ao contraste foram realizadas através do método de potenciais visuais corticais provocados de varredura. Eletrodos posicionados no escalpo da região occipital dos pacientes captaram as respostas eletrofisiológicas provocadas por estímulos gerados em um monitor de alta resolução por um sistema computadorizado (sistema NuDiva). Estes estímulos consistiam de grades quadradas com valor de contraste fixo (80%) para avaliação da acuidade visual, e grades senoidais de 4 frequências espaciais: 0,2 , 0,8 , 2,0 e 4,0 ciclos por grau para a avaliação da sensibilidade ao contraste.

Prematuros e termos não apresentaram diferenças estatísticas significantes nas funções visuais avaliadas em nenhuma fase do desenvolvimento. O pico de sensibilidade ao contraste ocorreu entre .8 e 2.0 cpg de 4 meses de idade. No sexto mês o pico deslocou-se para 2.0 cpg, e entre os meses 9 e 12 passou para frequências espaciais mais altas, por volta de 4.0 cpg coincidindo com o pico encontrado para os adultos.

Nossos dados sugerem que nem a experiência visual, maior nos prematuros em relação aos termos, nem o tempo de gestação, maior nos termos em relação aos prematuros, afetam o desenvolvimento da visão espacial em humanos.

Abstract

Prematurity at birth is a risk factor for vision, since it may lead to retinopathy – a condition in which there is retinal detachment. Retinopathy of prematurity occurs in a relatively small percentage of premature infants and it is not known if the remainder, whose visual development is apparently normal, follow the same course as in term babies after a complete gestational period, or if they also suffer some loss from having been born before complete development. Alternatively, these babies might have an accelerated visual development due to their longer exposure to the visual world, compared to term babies. To examine if prematurity accelerates, slows down, or does not affect visual development, the present study compared the development of visual acuity and contrast sensitivity in premature and term babies. The study used the methodology of the sweep visual evoked potentials to examine these functions. Possible correlations between visual thresholds obtained during the first year of life and gestational age, apgar index and birth weight, were examined.

As avaliações foram realizadas principalmente em 3 fases do desenvolvimento visual: 4, 6 e 12 meses de

Participants were 57 infants of both genders, recruited by the University Hospital of São Paulo University, of which 31 were prematurely born and 26 were term infants. Evaluations were performed at three visual developmental epochs: 4, 6 e 12 months of age. The age of preterm infants was corrected by their gestational ages in order to allow comparison with

the term infants. Another group with 14 adult subjects was tested with the same visual stimulus.

Visual acuity and contrast sensitivity tests were performed with the sweep visual evoked potential method. Electrodes placed over the infant's scalp at the occipital pole recorded electrophysiological responses evoked to visual stimuli generated by a high resolution monitor of a computerized system. The stimuli were square wave gratings with 80% of contrast to evaluate visual acuity, and sine wave gratings of 4 spatial frequencies: 0,2 , 0,8 , 2,0 e 4,0 cycles per degree to evaluate contrast sensitivity.

Preterm and term infants did not show statistical differences in the evaluated visual functions in any developmental phase. The contrast sensitivity peak occurred between 0.8 and 2.0 cpd at 4 months of age. At the sixth month the peak moved to 2.0 cpd and it was displaced to a higher spatial frequency (4.0 cpd) at 12 months, where it coincides with the adult SCS peak.

Our data suggest that neither visual experience, longer in the preterm, nor gestational age, longer in the term infants, seems to affect spatial vision functions in humans.

Lista de Abreviaturas, Símbolos e Siglas

WHO - World Health Organization

HCFMUSP - Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo

SEADE - Sistema Estadual de Análise de Dados

PIG - pequeno para a idade gestacional

ROP - retinopatia da prematuridade

AV - acuidade visual

SC - sensibilidade ao contraste

PVCP - potencial visual cortical provocado

FSC - função de sensibilidade ao contraste

cpg - ciclo por grau

C_R - contraste de Raleigh

L - luminância

dB - decibéis

% - porcentagem

l - largura

d - distância

Hz - hertz

cm - centímetro

ISCEV - International Society for Clinical Electrophysiology of Vision
(Sociedade Internacional para Eletrofisiologia Visual Clínica)

Lista de Tabelas

Tabela 1	-	Resumo dos dados de estudos realizados com bebês nascidos prematuros.....	66
Tabela 2	-	Resumo dos dados de estudos realizados com Potencial Visual Cortical Provocado.....	72
Tabela 3	-	Dados demográficos de todos os bebês nascidos a termo avaliados durante a realização do trabalho.....	78
Tabela 4	-	Dados demográficos de todos os bebês nascidos prematuros avaliados durante a realização do trabalho.....	79
Tabela 5	-	Valores de média, desvio padrão, e valor estatístico de p da comparação da acuidade visual dos bebês nascidos prematuros e a termo avaliados aos 4, 6 e 12 meses de idade corrigida.....	89
Tabela 6	-	Valores de média, desvio padrão, e valor estatístico de p da comparação da sensibilidade ao contraste visual dos bebês nascidos prematuros e a termo avaliados aos 4, 6 e 12 meses de idade corrigida.....	96

Lista de Figuras

Figura 1	-	Tarefa de acuidade visual de detecção.....	29
Figura 2	-	Tarefa de acuidade visual de reconhecimento com letras do alfabeto.....	29
Figura 3	-	Tarefa de acuidade visual de reconhecimento com o <i>E</i> não literário e o <i>C</i> de Landolt.....	30
Figura 4	-	Tarefa de acuidade visual de localização.....	31
Figura 5	-	Tarefa de acuidade visual de limiar de resolução.....	31
Figura 6	-	Grade com frequência espacial medida em ciclos por grau de ângulo visual.....	32
Figura 7	-	Perfil de luminância do contraste de grades senoidais numa razão de 1,0 e 0,5 (contraste de Michelson).....	35
Figura 8	-	Função de sensibilidade ao contraste fotópica.....	38

Figura 9	-	Placa de demonstração da função de sensibilidade ao contraste.....	39
Figura 10	-	Função de sensibilidade ao contraste com diferentes luminâncias.....	41
Figura 11	-	Tabelas de acuidade visual de alto e baixo contraste e tabela de sensibilidade ao contraste de Pelli-Robson, todas representadas em uma única tabela de acuidade visual e de sensibilidade ao contraste.....	42
Figura 12	-	Função de sensibilidade ao contraste composta por canais seletivos para frequências espaciais e a mesma função após adaptação de uma frequência espacial específica.....	43
Figura 13	-	Alterações da função de sensibilidade ao contraste devido a doenças.....	45
Figura 14	-	Teste de acuidade visual com os cartões de acuidade de Teller.....	51
Figura 15	-	Normas do teste de acuidade visual com os cartões de acuidade de Teller medidas por Salomão & Ventura, 1995.....	54

Figura 16	-	Normas do teste de acuidade visual com os cartões de acuidade de Teller medidas por Mayer et al., 1995.....	56
Figura 17	-	Média da função de sensibilidade ao contraste para crianças de 2 meses de idade e adultos.....	57
Figura 18	-	Desenvolvimento de diferentes parâmetros da função de sensibilidade ao contraste da <i>Macaca nemestrina</i>	58
Figura 19	-	Desenvolvimento da função de sensibilidade ao contraste desde o primeiro mês de vida até a maturidade.....	59
Figura 20	-	Função de sensibilidade ao contraste temporal cromática e de luminância com diferentes estímulos visuais.....	61
Figura 21	-	Eletrodos de registro da atividade cortical colocados na área visual primária para medir respostas elétricas a estímulos visuais.....	81
Figura 22	-	Mãe posicionando a criança para olhar o monitor onde são apresentados os estímulos visuais.....	81

Figura 23	-	Registros do segundo harmônico do Potencial Visual Evocado de Varredura com resultados dos testes de acuidade visual e sensibilidade ao contraste espacial de luminância.....	85
Figura 24	-	Acuidade visual de todos os bebês nascidos prematuros e a termo avaliados durante o primeiro ano de vida, além dos adultos.....	87
Figura 25	-	Média e desvio padrão das acuidades visuais dos bebês nascidos prematuros (PT) e a termo (T) avaliados aos 4, 6 e 12 meses de idade corrigida, além dos adultos.....	88
Figura 26	-	Limiares de Contraste da frequência espacial 0,2 cpg de todos os bebês nascidos prematuros e a termo avaliados durante o primeiro ano de vida, além dos adultos.....	89
Figura 27	-	Limiares de Contraste da frequência espacial 0,8 cpg de todos os bebês nascidos prematuros e a termo avaliados durante o primeiro ano de vida, além dos adultos.....	90
Figura 28	-	Limiares de Contraste da frequência espacial 2,0 cpg de todos os bebês nascidos prematuros e a termo avaliados durante o primeiro ano de vida, além dos adultos.....	90

Figura 29	-	Limiares de Contraste da frequência espacial 4,0 cpg de todos os bebês nascidos prematuros e a termo avaliados durante o primeiro ano de vida, além dos adultos.....	91
Figura 30	-	Média dos limiares de contraste das frequências espaciais 0,2, 0,8, 2,0, e 4,0 cpg, de todos os bebês nascidos prematuros e a termo avaliados durante o primeiro ano de vida, além dos adultos.....	92
Figura 31	-	Média da sensibilidade ao contraste e acuidade visual de prematuros e termos aos 4 meses de idade.....	93
Figura 32	-	Média da sensibilidade ao contraste e acuidade visual de prematuros e termos aos 6 meses de idade.....	94
Figura 33	-	Média da sensibilidade ao contraste e acuidade visual de prematuros e termos aos 12 meses de idade.....	95
Figura 34	-	Média da sensibilidade ao contraste e acuidade visual de prematuros e termos aos 4, 6 e 12 meses de idade, além dos adultos.....	97

Figura 35 - Desenvolvimento da sensibilidade ao contraste para
frequência espacial de 4,0 cpg, mostrando que o aumento da
sensibilidade é proporcional ao logaritmo da idade.....101

Lista de Anexos

- Anexo I - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.
- Anexo II - Termo de Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário da Universidade de São Paulo.
- Anexo III - Premiação de Finalista do Concurso Jovem Pesquisador – Prêmio Michel Jamra 2003 concedida pela Sociedade Brasileira de Investigação Clínica (SBIC) pela apresentação do trabalho “Dados preliminares comparativos do limiar de sensibilidade ao contraste medido por potenciais visuais evocados de varredura em bebês a termo e prematuros aos 3 e 10 meses de idade”.
- Anexo IV - Artigo completo “Contrast sensitivity threshold measures by sweep visual evoked potential in term and preterm infants at 3 and 10 months of age”, publicado no periódico *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* (2004) 37:1389-1396.
- Anexo V - Trabalho “Luminance Spatial Contrast Sensitivity Measured by the Sweep-Visual Evoked Potential in Preterm and Term Infants During the First Year of Life” apresentado no

Congresso Internacional ARVO 2005 (The Association for Research in Vision and Ophthalmology).

Anexo VI - Premiação de Honra ao Mérito concedida pela Comissão Organizadora da XX Reunião Anual da FeSBE 2005 (Federação de Sociedades de Biologia Experimental) pela apresentação do trabalho “Desenvolvimento da sensibilidade ao contraste de luminância medida por potenciais visuais evocados de varredura”.

Anexo VII - Trabalho “Visual Development in Children Born Prematurely” apresentado no Congresso Mundial de Oftalmologia 2006.

Anexo VIII - Trabalho “Visual Acuity and Contrast Sensitivity in Human Infants” apresentado no Congresso Internacional ARVO 2007 (The Association for Research in Vision and Ophthalmology).

Anexo IX - Declaração da Editora Lovise referente à publicação do Capítulo 5 “Desenvolvimento da visão de contrastes em bebês”, do Livro Intersecções entre a Psicologia e Neurociências, organizado por J. Landeira-Fernandes e M. Teresa Araújo Silva, a ser lançado no primeiro semestre de 2007.

Anexo X - Correlações entre os limiares de acuidade visual e sensibilidade ao contraste visual medidos aos 4, 6 e 12 meses de idade corrigida dos bebês nascidos prematuros e respectivos índice de Apgar.

Anexo XI - Correlações entre os limiares de acuidade visual e sensibilidade ao contraste visual medidos aos 4, 6 e 12 meses de idade corrigida dos bebês nascidos prematuros e respectivos peso ao nascimento.

Anexo XII - Correlações entre os limiares de acuidade visual e sensibilidade ao contraste visual medidos aos 4, 6 e 12 meses de idade corrigida dos bebês nascidos prematuros e respectivas idade gestacional.

Anexo XIII - Dados de acuidade visual e de sensibilidade ao contraste visual de todos os participantes do trabalho.

Índice:

<i>I - Introdução</i>	<i>21</i>
I . 1 – Prematuridade	21
I . 2 – Acuidade Visual e Sensibilidade ao Contraste	26
I . 3 – A Função de Sensibilidade ao Contraste em Diferentes Patologias	44
I . 4 – A Função de Sensibilidade ao Contraste no Desenvolvimento Visual	46
I . 5 – Desenvolvimento Visual Humano	48
I . 6 - Potencial Visual Cortical Provocado (PVCP)	66
<i>II – Objetivos</i>	<i>76</i>
<i>III - Métodos</i>	<i>76</i>
III . 1 – Participantes	76
III . 2 - Materiais e Métodos	80
III . 2 / A – Equipamento de registro e parâmetros dos estímulos	80
III . 2 / B – Estímulos para Acuidade Visual e Sensibilidade ao Contraste	82
III . 2 / C - Procedimento Experimental	83
III . 2 / D - Análise dos dados	83
<i>IV – Resultados</i>	<i>87</i>
<i>V – Conclusões e Discussão</i>	<i>100</i>
<i>VI - Referências Bibliográficas</i>	<i>106</i>

I - Introdução

I . 1 – Prematuridade

O conceito atual de prematuridade foi definido em 1969 pela Organização Mundial de Saúde (*World Health Organization - WHO*). É considerado prematuro todo recém-nascido vivo com menos de 37 semanas de gestação ou 259 dias (WHO, 1970) contados a partir do primeiro dia do último período menstrual (Rades, Bittar & Zugaib, 2004).

Enquanto na última década pudemos observar uma melhora nos padrões para o nascimento incluindo melhorias da qualidade na assistência pré e perinatal (Spallicci et al., 2000), diminuição do número de mulheres que fumam durante a gravidez, e diminuição no número de partos por cirurgia cesariana, a prevalência dos nascimentos prematuros vem aumentando continuamente desde 1976 (Birch & O'Connor, 2001). Este crescente é associado com o aumento da prevalência de nascimentos múltiplos bem como com modificações nas características maternas que incluem um maior número de mães acima dos 35 anos de idade, maior número de mães que tiveram sucesso na gravidez de alto risco, bem como um maior número de mães extremamente jovens (Birch & O'Connor, 2001).

A incidência da prematuridade é variável, dependente de características populacionais, e em geral tem aumentado a cada ano exceto em alguns países como a França e a Finlândia (Rades, Bittar & Zugaib, 2004). Um estudo realizado nos Estados Unidos em 1997 revelou uma incidência de 11,3% de nascimentos prematuros naquele ano - 0,1% a mais

que o ano anterior - e uma incidência de 7,5% de nascimentos com baixo peso, com um aumento em relação ao ano anterior de 0,1% igual ao da idade gestacional. Durante o período de 1981 a 2003 foi observado um aumento de 27% na incidência da prematuridade nos Estados Unidos (Rades, Bittar & Zugaib, 2004).

No Brasil, as informações sobre os nascimentos prematuros são mais escassas e menos confiáveis, segundo Rades, Bittar & Zugaib (2004). O trabalho de Spallicci et al. (2000) revela uma incidência variando de 5 a 15%. A Fundação SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados) registrou 7,07% de partos prematuros na cidade de São Paulo em 2001, diferentemente da Clínica Obstétrica do HCFMUSP (Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo) que registrou a incidência média da prematuridade de 22% entre os anos de 1993 e 2002 (Rades, Bittar & Zugaib, 2004). A grande discrepância destes dados pode ser explicada pelo fato do HCFMUSP ser classificado como um hospital terciário.

Uma condição de saúde importante dos recém-nascidos é o tamanho, e conseqüentemente o peso apresentado por eles. Recém-nascidos prematuros muitas vezes se apresentam pequenos para a sua idade gestacional. O termo “pequeno para a idade gestacional” (PIG) descreve uma criança cujo peso de nascimento em relação à idade gestacional está abaixo de um pré-determinado ponto de corte, que varia de estudo para estudo, e existe uma relação direta entre a diferença do peso em relação à idade gestacional e o aumento da incidência de problemas de saúde (Ornelas, Xavier & Colosimo,

2002). O desempenho dos recém-nascidos prematuros pequenos para a idade gestacional em relação ao seu crescimento e desenvolvimento, além do potencial genético, está na dependência da qualidade da assistência médico-hospitalar e, após a alta, das condições sócio-econômicas da família (Ornelas, Xavier & Colosimo, 2002).

O nascimento prematuro pode ser classificado segundo diferentes parâmetros, dentre os quais, o peso ao nascimento, com a idade gestacional, com o índice de Apgar, ou até mesmo com a etiologia da prematuridade, conforme descreveu Moutquin (2003).

Os fatores etiológicos do parto prematuro são parto espontâneo, provocado por trabalho de parto espontâneo ou por ruptura prematura de membranas, e parto eletivo, por indicação médica, decorrente de intercorrências maternas e/ou fetais (Rades, Bittar & Zugaib, 2004).

Apesar dos avanços da perinatologia nos últimos anos, o nascimento prematuro continua sendo a principal causa de morbidade e mortalidade neonatal, representando um dos maiores desafios para a obstetrícia (Birch & O'Connor, 2001; Mazzitelli, 2002; Rades, Bittar & Zugaib, 2004). Cerca de 75% das mortes de recém nascidos neste período decorreram da prematuridade, excluídas as malformações, ao passo que a morbidade está diretamente relacionada aos distúrbios respiratórios e às complicações infecciosas e neurológicas, como descrito no estudo de Rades, Bittar & Zugaib (2004).

O nascimento prematuro potencialmente representa um fator de importância no desenvolvimento visual atuando de duas formas distintas

(Birch & O'Connor, 2001). Segundo estes autores em primeiro, a exteriorização prematura submete o sistema visual a uma estimulação visual precoce e simultaneamente o priva de nutrientes essenciais transferidos da mãe para o feto através da placenta durante a fase final da gestação, período de rápida maturação deste sistema. Segundo, a imaturidade, em conjunto com as diversas associações e complicações sistêmicas do nascimento prematuro, coloca a criança em um grupo de risco para alterações visuais permanentes (Birch & O'Connor, 2001).

Segundo Egyetem & Klinika (1999) a enfermidade mais característica encontrada em crianças prematuras é a Síndrome da Angústia Respiratória Idiopática. Problemas relacionados com a visão, audição e desenvolvimento neurológico são partes integrantes das preocupações neonatais.

Parmelee (1975) relatou que alguns prematuros podem de fato ser avançados em várias áreas do comportamento e do desenvolvimento neurofisiológico, mas isto é contrabalançado por prematuros que são significativamente comprometidos nesses parâmetros por razões médicas como hipóxia ou distúrbios metabólicos, enquanto uma terceira parte dessas crianças mostra misturas desorganizadas de comprometimentos e avanços de desenvolvimento em áreas seletivas.

A retinopatia da prematuridade é causada por uma alteração na interação entre células que compõem a retina durante o desenvolvimento. Estes elementos A retina, como parte do sistema nervoso, contém neurônios, células da glia (astrócitos e células de Muller) e vasos sanguíneos (contendo células endoteliais vasculares, pericitos, e células

musculares lisas), além de células do sistema imune e fagócitos. O processo de formação da vascularização da retina humana implica em interações complexas entre esses elementos celulares para que seja produzida uma rede vascular ajustada às necessidades metabólicas do tecido (Lutty et al., 2006). Neste período é muito comum o aparecimento da retinopatia da prematuridade (ROP), doença vaso proliferativa que ocorre em recém-nascidos prematuros. Nestes bebês, por ocasião do nascimento, a vasculogênese da retina está incompleta favorecendo a formação de tecido neovascular, que na grande maioria dos casos sofre involução espontânea. Entretanto, na sua minoria, evolui para uma proliferação fibrovascular em direção ao vítreo formando membranas e trações retinianas, podendo promover o descolamento da retina e acarretar nesses olhos um baixo poder de resolução visual (Bonotto, Moreira & Carvalho, 2007). Um terço das crianças nascidas com peso inferior a 1500g podem apresentar ROP, e esta incidência aumenta para 65,8% quando o nascimento ocorre com peso inferior a 1250g e 81,6% abaixo de 1000g. A cegueira é consequência da ROP em 0,5% dos bebês nascidos com peso entre 1000 e 1500g, além de alterações cicatriciais que ocorrem em 2,2% dos bebês nascidos nesta faixa de peso (Dambro, 2002).

Estudos multicêntricos indicam que a produção periférica de fatores de crescimento na retina avascular talvez seja o provável distúrbio que leva à deteriorização retiniana nos processos de ROP (Lutty et al., 2006).

Vários fatores etiológicos foram associados ao desenvolvimento da ROP como peso ao nascimento e idade gestacional baixos, infecções,

deficiência de vitaminas E e A, além de exposição excessiva à luz (Bonotto, Moreira & Carvalho, 2007).

Uma maior incidência de alterações visuais em prematuros com e sem diagnóstico de ROP comparados com recém-nascidos a termo é amplamente descrita na literatura (Birch & O'Connor, 2001; Haro, 2003; Jongmans et al., 1996; Kos-Pietro et al., 1997; Luty et al., 2006; Mash & Dobson, 1998; Mazzitelli, 2002; Norcia Tyler e Hamer, 1990; Pike et al., 1994; Salomão et al., 2001).

Resultados de estudos do grupo *CRYO-ROP Cooperative*, que estuda o tratamento da ROP com técnicas de crioterapia, mostram benefícios desta técnica no desenvolvimento da AV quando aplicada em olhos com retinopatia severa. Isto não exclui a necessidade de métodos de prevenção do desenvolvimento da retinopatia nem a necessidade de aprimoramento das técnicas que podem tratar esta patologia (Luty et al., 2006).

I . 2 – Acuidade Visual e Sensibilidade ao Contraste

O mundo na visão de um recém-nascido é consideravelmente diferente e muito empobrecido, em comparação ao de um adulto. As funções visuais básicas como acuidade visual (AV), sensibilidade ao contraste (SC), estereopsia, visão de cores, movimentos dos olhos e controle oculomotor apresentam-se imaturas ao nascimento, mas todas estas capacidades visuais passam por grande desenvolvimento durante a infância, principalmente nos primeiros meses de vida (Atkinson & Braddick, 1989; Slater, 1989; Boothe et al., 1988; Salomão & Ventura 1995, Hamer et al, 1989; Birch &

O'Connor 2001; Teller, 1990; Norcia & Tyler, 1985; Van Hof-van Duin & Mohn, 1986).

O procedimento de medida da eficácia do sistema visual mais comum entre todos os utilizados na oftalmologia é o teste de AV (Atkinson & Braddick, 1989; Cinoto et al., 2006; Odom, 2003). A AV ao nascimento é tão pobre (aproximadamente 20/400 em medidas eletrofisiológicas segundo Mills, 1999) que um adulto com o nível de AV de um recém-nascido é considerado legalmente como cego (Slater, 1989).

A AV pode ser definida como a função visual que expressa a capacidade de discriminar formas. Refere-se à medida do limiar da separação angular entre dois pontos no espaço ou da resolução visual de suas respectivas imagens sobre a retina (Bicas, 2002).

Acuidade visual se refere ao limite espacial de discriminação visual. Portanto, envolve a determinação de um limiar. Dentro desta definição geral podemos dividir a acuidade visual em 3 principais critérios de avaliação:

Mínimo visível: capacidade de detecção da presença de um estímulo visual, ou seja, o menor estímulo capaz de ser visto pelo sujeito.

Mínimo resolvível: capacidade de detecção da menor distância entre dois estímulos. Em um adulto normal, o limite de resolução, freqüentemente apresentado como o ângulo mínimo de resolução (AMR), está entre 30 segundos e um minuto de arco.

Mínimo discriminável: capacidade de detecção de diferenças espaciais quando o limiar está abaixo do mínimo separável, ou seja, em poucos segundos de arco.

Fatores como aberrações ópticas, erros refrativos, difrações que ocorrem na borda da pupila e o próprio tamanho pupilar, a função de transferência de modulação do sistema óptico e da via visual, luminância, excentricidade retiniana da imagem e a distância entre os fotorreceptores, influenciam na acuidade visual (Hart, 1992).

Para a medida da AV convencional clínica, caracteres visuais chamados optotipos são apresentados ao paciente, para o qual é solicitado a identificá-los. Os optotipos geralmente são apresentados em um contraste muito alto, e à medida que respostas corretas de identificação são obtidas, o tamanho dos optotipos é gradativamente diminuído (os detalhes se tornam mais finos) até que o paciente passe a errar ou informe que não consegue identificar o optotipo. A AV corresponde ao menor optotipo identificado e constitui uma medida da maior capacidade de resolução do sistema visual (Schwartz, 2004).

A AV geralmente é determinada com a utilização de tabelas impressas com os Optotipos de Snellen. Outras metodologias de testagem, como programas computadorizados que utilizam optotipos “E”, também foram comprovados cientificamente como ferramentas eficazes para a avaliação da AV, promovendo resultados objetivos, com a vantagem da independência da interação do examinador durante o teste (Beck et al., 2003; Arippol, Salomão & Belfort Jr., 2006).

A AV pode ser aferida através de tarefas distintas:

- **Tarefa de detecção:** consiste na detecção da presença ou não de algum aspecto do estímulo visual, sem a necessidade de

relatar detalhes sobre o estímulo, como mostra a figura 1. A acuidade medida é o mínimo visível.

Fig. 1 – A tarefa de detecção envolve determinar a presença de um ponto ou uma linha. (A) Objeto de teste claro em um fundo escuro. (B) Objeto de teste escuro em um fundo claro. (Kolb et al., 2007) webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html

- **Tarefa de reconhecimento:** consiste no reconhecimento ou nomeação de um optotipo, portanto, necessita que estes optotipos de testagem possuam tamanho superior ao limite de detecção do sujeito (figura 2). A acuidade medida é o mínimo resolvível.

Fig. 2 – Tarefa de reconhecimento. Nomeação do objeto de teste, neste caso de letras do Alfabeto (Snellen) (Kolb et al., 2007) webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html

O *E não literário* e o *C de Landolt* são mais duas formas comuns de medidas de AV (optotipos) clinicamente utilizadas através de tarefas de reconhecimento. Nestes casos, exemplificados na figura 3, a tarefa é reconhecer o posicionamento do optotipo através da posição da abertura (falha) nos estímulos.

Fig. 3 – (A) *C de Landolt*. (B) *E não literário*.
(Kolb et al., 2007) webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html

- **Tarefa de localização:** consiste na discriminação de diferenças na posição espacial dos segmentos do objeto de teste, como uma interrupção ou descontinuidade do seu contorno. A acuidade medida é o mínimo discriminável. Também chamada de Acuidade Vernier, representa um tipo de hiperacuidade. A

figura 4 apresenta exemplos de estímulos referentes a este tipo de tarefa.

Fig. 4 – Tarefa de localização nas quais é medido o desalinhamento entre estímulos. Exemplos de estímulos usados para medir Acuidade de Vernier. (Kolb et al., 2007) webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html

- **Tarefa de limiar de resolução:** este limiar corresponde ao menor tamanho angular em que um sujeito pode discriminar a separação entre elementos críticos de um estímulo padronizado composto por pares de pontos, grades, ou quadriculado (figura 5). A acuidade medida é o mínimo resolvível.

Fig. 5 – Tarefa de resolução. (A) Par de pontos. (B) Grades. (C) Quadriculado. (Kolb et al., 2007) webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html

Utilizando-se uma grade como estímulo para avaliação da AV, por exemplo, a frequência espacial da grade pode ser expressa em ciclos por grau (cpg) de ângulo visual, onde um ciclo consiste em uma faixa clara e uma faixa escura na grade (Cornsweet, 1970) (figura 6). Ângulo visual é o ângulo formado por um objeto que se projeta na retina. Este ângulo relaciona a largura (l) do objeto com a distância (d) dele ao observador. A relação

Ângulo visual = (l/d) radianos,
pode ser expressa em graus.

Fig. 6 – Frequência espacial é a medida do número de ciclos por grau subentendido na retina. (a) Um ciclo por grau. (b) Dois ciclos por grau.
(Kolb et al., 2007) webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html

Grades verticais de luminância de onda quadrada foram utilizadas para medir o limiar de resolução nas avaliações de AV deste trabalho.

Funcionalmente os valores de AV de um recém-nascido podem ser observados por duas perspectivas distintas. Se por um lado a AV nos

primeiros meses é muito baixa comparada com os valores adultos de 30 a 40 cpg, por outro lado a proximidade dos objetos com os quais os recém-nascidos se relacionam primariamente, como faces, por exemplo, gera grandes imagens retinianas e a essência desta informação pode ser disponibilizada mesmo com uma AV média de apenas 1 cpg. Sendo assim, a informação visual importante nos primeiros meses de vida provavelmente não é limitada pela acuidade, embora essas limitações contribuam com o desinteresse para objetos distantes, cujas imagens retinianas são obviamente muito menores (Atkinson & Braddick, 1989).

A AV descreve o comportamento do sistema visual na resolução de detalhes de um estímulo espacial. Entretanto, uma medida mais completa da visão espacial humana compreende a medida de Sensibilidade ao Contraste (SC) (Adams & Courage 2002; Atkinson, Braddick & Braddick, 1974; Atkinson & Braddick, 1989; Campbell, 1974).

A SC é uma das mais importantes funções do sistema visual dos humanos e dos outros animais (Shapley, Kaplan, & Purpura, 1993) pois possibilita a identificação de objetos. Sem a possibilidade de perceber contrastes não haveria visão de formas. Quanto maior essa capacidade, maior a possibilidade de detectar pequenas variações no campo de visão. O limiar de contraste é a menor diferença detectável de luminância ou cor entre duas áreas justapostas espacialmente ou sucessivas no tempo. A SC espacial é frequentemente medida usando-se grades senoidais de diferentes frequências espaciais. Nesta situação a SC é definida como a recíproca da

quantidade mínima de contraste necessário para detectar uma grade de uma frequência espacial específica (Cornsweet, 1970).

Duas superfícies podem ser percebidas como separadas se houver uma diferença de algum atributo físico. A diferença de luminância entre áreas adjacentes (Campbell, 1974) é uma propriedade física do estímulo visual, bem como diferenças de textura, cor ou outras (Cornsweet, 1970; Shapley, Kaplan, & Purpura, 1993).

O contraste de luminância pode ser calculado com base na medida das luminâncias das superfícies a serem comparadas. No caso de uma área em um campo homogêneo, é utilizado o Contraste de Weber:

$$C_W = L - L_F / L_F,$$

onde L é a luminância da área a ser discriminada e L_F é a luminância do fundo no qual se encontra essa área.

Para padrões nos quais áreas mais claras e mais escuras são aproximadamente equivalentes, como ocorre em espaciais periódicos como grades senoidais, a definição de contraste utilizada é:

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

onde $L_{\max}$ é a luminância máxima e $L_{\min}$ a luminância mínima. O contraste C_R ou Contraste de Rayleigh (C_R) pode ter valores absolutos entre 0.0 e 1.0, e também pode ser chamado de Modulação, ou Michelson (figura 7) (Shapley, Kaplan, & Purpura, 1993).

Fig. 7 - Perfil de luminância do contraste de grades senoidais numa razão de 1.0 e 0.5 (contraste de Michelson). Para o valor de contraste de 1.0, a grade deve ter o máximo e o mínimo de luminância disponível.

(Kolb et al., 2007) webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html

Segundo Campbell (1974), na concepção de que o sistema visual analisa uma frequência espacial em termos da soma simples dos harmônicos desta frequência, o primeiro passo é estudar as respostas deste sistema para grades senoidais simples. Desta maneira poderemos posteriormente compreender como o sistema visual lida com formas de onda mais complexas. Seguindo esta linha de raciocínio, para uma avaliação de SC, estímulos em forma de grades (listras) senoidais ou quadradas são usados como uma maneira de medida do poder de resolução do olho, pois podem ser ajustados para qualquer frequência espacial fornecendo resultados facilmente quantificáveis dentro de um tratamento de análise de Fourier do padrão espacial (Cornsweet, 1970).

Uma grade senoidal de luminância é definida em termos da modulação da amplitude de contraste e da frequência espacial.

Para uma descrição completa de uma grade de onda senoidal são importantes, além do contraste e da frequência espacial, a fase e a orientação da grade. A fase se refere à posição da grade senoidal em relação a outra grade senoidal, sendo que se duas grades senoidais idênticas estão em fase, suas luminâncias se complementam, e se estas mesmas duas grades estão em contra-fase de 180 graus, os picos e vales se anulam. A orientação se refere à descrição do ângulo correspondente às grades (Shapley, Kaplan, & Purpura, 1993).

A maioria dos estudos que procurou estimar a SC até o presente momento utilizou grades senoidais verticais como padrão (Allen, Tyler, & Norcia, 1996; Bradley & Freeman, 1982; de Faria et al., 1998; Hammarrenger et al., 2007; Jackson et al., 2003; Mirabella et al., 2006; Norcia et al., 1989; Norcia, Tyler, & Hamer, 1990; Oliveira et al., 2004; Peterzell & Norcia, 1997; Santos & Simas, 2001; Shannon, Skoczenski, & Banks, 1996).

O valor de contraste requerido pelo sistema visual para alcançar um limiar pode ser expresso numa escala de decibéis (dB) ou em porcentagem (%) de contraste. A recíproca desse valor é a sensibilidade ao contraste.

A medida de limiares de contraste pode ser feita em várias frequências espaciais. A relação obtida entre amplitude de contraste e frequência espacial constitui a Função de Sensibilidade ao Contraste (FSC) espacial.

O sistema visual é mais sensível a algumas frequências espaciais que a outras (Atkinson & Braddick, 1989; Campbell, 1974). Sob condições de visão fotópica, a medida da SC com grades senoidais revela uma função de banda de passagem (band-pass), ou seja, há uma redução na sensibilidade ao contraste nas altas e nas baixas frequências espaciais (Schwartz, 2004). A frequência de corte no extremo das altas frequências corresponde à AV, ou seja, à frequência espacial na qual o máximo contraste é necessário para detectar o menor objeto possível num dado nível médio de luminância.

A SC foi avaliada em adultos por métodos psicofísicos e eletrofisiológicos, usando o potencial visual provocado de varredura, nas frequências espaciais 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 cpg, por de Faria et al. (1998), e os resultados mostraram a melhor sensibilidade na frequência espacial média de 2,0 cpg.

A princípio é de se surpreender que após um tamanho ótimo, à medida que as grades vão se tornando maiores, a SC vai se tornando menor até que um limite seja atingido e as grades deixem de ser percebidas (Campbell, 1974). A explicação para este corte das baixas frequências espaciais é dada pelo fenômeno de oponência espacial, que resulta da ação do mecanismo de inibição lateral na retina. O campo receptivo de uma célula ganglionar da retina consiste de uma região central que responde a estímulos luminosos com excitação ou com inibição, e de uma região periférica que responde com sinal oposto ao da região central. Como a grade é formada de faixas claras e escuras, uma faixa escura ou clara muito larga (baixa frequência

espacial) é capaz de ativar simultaneamente as regiões central e periférica do campo receptivo, anulando a resposta ao estímulo (Schwartz, 2004).

A redução da SC nas altas frequências espaciais reflete a limitação do sistema visual na resolução de detalhes, mesmo com 100% de contraste (Schwartz, 2004). Esta limitação reflete as propriedades ópticas do olho cuja resolução está sintonizada com o mosaico de fotorreceptores da retina. Na figura 8 o ponto máximo de resolução pode ser observado entre 10 e 100 cpg, por volta de 60 cpg, onde a FSC cruza o eixo das abcissas (Kolb et al., 2007).

Fig. 8 – Função de sensibilidade ao contraste fotópica.
(Kolb et al., 2007) webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html

A melhor resolução humana para as frequências espaciais intermediárias pode ser observada também na figura 9, que reproduz de forma semelhante a figura 8, utilizando grades com frequências espaciais que aumentam da esquerda para a direita e com níveis de contraste que aumentam de cima para baixo na figura.

Fig. 9 - Placa demonstrando a FSC. O contraste aumenta da região superior para a inferior da figura, e a frequência espacial aumenta da esquerda para a direita (Ohzawa, I. 2007).

http://cobalt056.bpe.es.osaka-u.ac.jp/ohzawa-lab/izumi/CSF/A_JG_RobsonCSFchart.html

A forma e os parâmetros críticos da FSC dependem de um número de fatores que incluem: a média de luminância da grade; o perfil da luminância

das grades, geralmente ondas senoidais ou quadradas; o nível do borramento do sistema óptico; a transparência dos meios ópticos (Kolb et al., 2007).

Diretamente relacionada à transmissão de luz pelas diferentes estruturas oculares, a FSC apresenta-se diminuída, tanto em qualquer dos processos que afetem a transparência delas (nébulas e leucomas corneais, cataratas, opacificações do corpo vítreo), ou impeçam a chegada do estímulo à retina (p.ex., ausência ou ectopia da pupila), quanto devido a imperfeições na formação de imagens pelo sistema óptico do olho (ametropias e aberrações). Basicamente dependente do funcionamento da retina e vias visuais, e também sofre redução em afecções dessas estruturas (descolamentos, degenerações, inflamações e cicatrizes da parte central da retina, neurites ópticas ou comprometimentos de axônios relacionados às células ganglionares da fóvea, lesões afetando o córtice visual ou outras partes, etc.), ou quando o desenvolvimento neural se faz imperfeitamente (ex., ambliopia) (Bicas, 2002).

Nos níveis de baixa luminância, a sensibilidade máxima ao contraste corresponde a aproximadamente 8 por cento e a resolução máxima está em aproximadamente 6 cpg (figura 10). Nos níveis de luminância mais altos, a SC aumenta em todas as frequências espaciais, o pico da FSC chega a apenas 0,5% de contraste (Kolb et al., 2007) e a maior frequência espacial atinge entre 50 e 60 ciclos por grau, que corresponde à maior capacidade de resolução espacial nestas condições (Kolb et al., 2007; Schwartz, 2004).

Fig. 10 – FSC mostrando a mudança no formato para passa baixo em baixas luminâncias e banda de passagem em altas luminâncias.
(Kolb et al., 2007) webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html

Os seres humanos detectam uma grade de 4 ciclos por grau em níveis de contraste inferiores aos requeridos para a detecção de outras frequências espaciais, ou seja, o pico da SC ocorre em aproximadamente 4 cpg (Schwartz, 2004).

Conforme foi relatado anteriormente, a medida de AV corresponde à maior capacidade de resolução do sistema visual, e como é obtida geralmente através de optotipos com altos níveis de contraste com o fundo,

corresponde ao corte da FSC nas altas frequências espaciais, utilizando-se optotipos ao invés de grades (Schwartz, 2004). A AV, portanto, corresponde a apenas um ponto na FSC (Figura 11).

Fig. 11 - Tabelas de AV de alto e baixo contraste (à direita), e tabela de SC de Pelli-Robson (acima), representados em uma única tabela de AV e de SC (ao centro) (Liu, C., 2007).

http://www.bsrs2000.fsnet.co.uk/new_page_13.htm

Medindo-se a FSC completa é possível diferenciar situações em que existem perdas nas frequências espaciais médias ou baixas e não nas altas, ou o contrário. Isto pode ocorrer devido ao fato de existirem diferentes grupos de neurônios para o processamento de diferentes frequências

espaciais, segundo a Teoria dos Canais Múltiplos (Campbell, 1974; Cornsweet, 1970). Esta teoria, criada por (Campbell & Robson, 1968), se baseia em experimentos nos quais a FSC medida em sujeitos adaptados a uma determinada frequência espacial, mostrou rebaixamento na região da frequência espacial de adaptação, comparada à FSC medida sem essa adaptação.

Com base nestes resultados, Campbell & Robson (1968) lançaram a hipótese de que existe um número de canais separados no sistema visual, cada um dos quais sintonizado com um pequeno grupo de frequências espaciais. Assim, alguns canais são específicos para baixas frequências, outros específicos para frequências médias, e outros para as altas. A curva de sensibilidade é completa é dada pelos picos de sensibilidade de cada um dos canais (figura 12).

Fig. 12 - (a) A FSC sendo composta por vários canais seletivos para frequências espaciais seguindo a Teoria dos Canais Múltiplos. (b) Após adaptação de uma frequência espacial específica, a FSC é rebaixada apenas na região onde se localiza esta frequência espacial (Campbell et al., 1968).

A Teoria dos Canais Múltiplos é reforçada por estudos que relatam diferentes períodos críticos de desenvolvimento em uma mesma função visual e entre funções visuais distintas. Harwerth et al. (1986) encontraram, após diferentes períodos de privação monocular na *Macaca mulatta*, diferentes períodos críticos de desenvolvimento para as seguintes funções visuais: sensibilidade espectral escotópica (até 3 meses), sensibilidade espectral fotópica (até 6 meses), visão espacial (até 25 meses), binocularidade (acima de 25 meses). Além disto, as perdas na visão espacial foram maiores nas frequências espaciais médias e altas que nas frequências mais baixas. As perdas aumentavam com o aumento do período de privação em todas as funções visuais avaliadas.

I . 3 – A Função de Sensibilidade ao Contraste em Diferentes Patologias

Dentre os aspectos importantes que podem ser avaliados através da FSC vale a pena destacar os prejuízos na percepção visual provocados por doenças degenerativas, intoxicação por metais pesados, diabetes, os processos de desmielinização das vias visuais e também as lesões corticais, comuns na prática clínica humana (Rodrigues et al., 2007; Santos & Simas, 2001; Ventura et al., 2005). Exemplos de algumas alterações na SC por patologias podem ser vistos na figura 13. Pacientes com esclerose múltipla têm perdas discretas nas baixas frequências espaciais na SC (figura 13-B), enquanto pacientes com catarata apresentam uma redução na SC em todas as frequências espaciais (figura 13-C). Erro refrativo ou ambliopia leve levam

a uma FSC similar à curva “D” na figura 13, com perda nas altas frequências espaciais. Com maiores erros refrativos ou ambliopia severa, o resultado a FSC é similar à curva “C” da figura 13, ou seja, perda em todas as frequências espaciais (Kolb et al., 2007).

Fig. 13 – Exemplos de como a FSC (A) é alterada devido a doenças como esclerose múltipla (B), catarata (C), e erro refrativo ou ambliopia (D).
(Kolb et al., 2007) webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html

Pacientes com catarata em estágios iniciais não apresentam perdas na SC nas baixas frequências, mas com o avanço do quadro da doença as perdas ocorrem em todas as frequências espaciais (Elliott & Situ, 1998).

Pacientes com ambliopia meridional mostram anormalidades evidentes na detecção de limiares de contraste (StJohn, 1997).

Portadores da mutação no DNA mitocondrial que causa a Neuropatia Óptica Hereditária de Leber (NOHL), com AV normal, apresentam perdas na SC cromática e de luminância em todas as frequências espaciais avaliadas por (Ventura et al., 2005).

A medida da SC também se mostrou uma ferramenta importante na detecção e monitoramento de disfunções visuais em pacientes que apresentam adenoma pituitário. Porciatti et al. (1999) avaliaram a SC de pacientes com este diagnóstico utilizando dois tipos de estímulos visuais: uma grade senoidal larga (0,3 cpg), dinâmica (com modulação temporal de 10 Hz), definida como estímulo Magnocelular; e outra mais fina (2,0 cpg), estática, definida como estímulo Parvocelular. Os resultados indicaram que o adenoma pituitário pode causar disfunções significativas nas vias visuais em muitos pacientes sem compressão quiasmática, e com acuidade e campo visual normais.

Condições adquiridas como intoxicações químicas são descritas na literatura interferindo na FSC. Trabalhadores de fábricas de lâmpadas diagnosticados com mercurialismo crônico foram avaliados quanto à SC com métodos psicofísicos e eletrofisiológicos e ambos mostraram redução nesta função visual (Ventura et al., 2005).

I . 4 – A Função de Sensibilidade ao Contraste no Desenvolvimento Visual

Além da utilidade na avaliação de diferentes patologias, a FSC pode ser utilizada para estudar o desenvolvimento do sistema visual humano, ou

percepção visual de formas em infantes, (Adams & Courage, 2002; Allen, Tyler, & Norcia, 1996; Banks & Salapatek, 1976; Jackson et al., 2003; Kelly, Borchert, & Teller, 1997; Kelly & Chang, 2000; Montés-Micó & Ferrer-Blasco, 2001; Norcia, Tyler e Hamer, 1990; Oliveira et al., 2004; Rasengane, Allen, & Manny, 1997; Shannon, Skoczenski, & Banks, 1996) pois muitos aspectos responsáveis pelo surgimento da percepção visual, como as respostas elétricas da retina, a AV, a estereopsia, a visão de cores, a resolução temporal, o campo visual, e a própria SC, conforme já foi ressaltado anteriormente, estão todos reduzidos na infância, comparando-se com o desempenho adulto (Allen, Banks, & Norcia, 1993; Allen, Tyler, & Norcia, 1996; Atkinson e Braddick, 1989; Banks e Salapatek, 1976; Berezovsky et al., 1995; Berezovsky et al., 2003; Dobson & Teller, 1978; Hamer et al., 1989; Harvey et al., 1997; Jongmans et al., 1996; Kelly, Borchert, & Teller, 1997; Kos-Pietro et al., 1997; Morante et al., 1982; Moskowitz & Sokol, 1980; Norcia & Tyler, 1985; Rasengane, Allen, & Manny, 1997; Santos & Simas, 2001; Shannon, Skoczenski, & Banks, 1996; Teller, 1990; Teller, 1998).

A avaliação do desenvolvimento visual em humanos é de extrema importância pelas seguintes razões: Em primeiro lugar, se existe um período crítico em que a vulnerabilidade para uma possível interrupção do desenvolvimento visual normal seja mais alta, ele deve coincidir com um período de desenvolvimento visual ativo. Segundo, as bases dos tratamentos dos distúrbios visuais dependem criticamente do conhecimento dos processos de desenvolvimento normais (Bradley & Freeman, 1982).

I . 5 – Desenvolvimento Visual Humano

A hierarquia do processamento visual mais utilizada em estudos do desenvolvimento visual de recém-nascidos e crianças se caracteriza por uma divisão em três estágios: inicial, médio e tardio. A progressão do estágio inicial para o tardio corresponde à complexidade da informação extraída em cada nível. A visão, desde o estágio inicial, começa na retina e continua através do núcleo geniculado lateral e do córtex visual primário. Ainda neste estágio atributos dos estímulos visuais como a orientação, a direção de movimento, e a disparidade são extraídos das imagens retinianas. No nível médio o processamento se estende às duas primeiras camadas das áreas visuais extra-estriadas, com informações de forma, contorno, relação entre a figura e o fundo, simetria entre objetos, e profundidade de superfície, mas sem incluir a identidade dos objetos na cena. A identificação de objetos (reconhecimento de objeto), que envolve não apenas a percepção visual mas também a memória, ocorre em conjunto com áreas associativas visuais mais altas e correspondem ao estágio tardio do processamento visual (Norcia & Manny, 2003).

A imaturidade dos meios ópticos do olho, dos mecanismos de acomodação, bem como os erros refrativos por astigmatismo muito comuns em crianças, associados a fatores neurais como imaturidade dos cones retinianos e a menor densidade destes na fóvea, a organização dos campos receptivos das células ganglionares da retina humana ao nascimento, e a mielinização incompleta dos axônios das fibras do nervo óptico

potencialmente já limitam a informação visual antes mesmo dela chegar ao núcleo geniculado lateral e ao colículo superior, e posteriormente à área cortical visual primária, que também se apresentam imaturos ao nascimento (Atkinson & Braddick, 1989).

Maurer et al. (1999), num trabalho de grande impacto publicado na revista *Science*, mostraram que o desenvolvimento pós-natal da visão depende de estimulação com padrões espaço-temporais presentes na situação visual normal. Eles compararam a AV de recém-nascidos com diagnóstico de catarata em um ou ambos os olhos antes e depois de remoção cirúrgica da catarata, que os privava dessa estimulação. A medida da AV foi feita logo após a colocação de uma lente de contato apropriada, alguns dias após a cirurgia. Nesta primeira avaliação as crianças, cuja AV foi comparada à de crianças que tiveram uma experiência visual pós-natal normal. A AV das crianças operadas era próxima da do recém nascido independentemente da idade deles, que variava entre 1 e 9 meses. Os autores mostraram portanto, que na ausência de estímulos visuais de forma a AV de humanos não apresenta nenhum aprimoramento pós-natal. Uma hora após a inserção da lente as crianças foram novamente avaliadas e os resultados mostraram que AV já havia melhorado aproximadamente 0,4 oitavas. O resultado prova que o sistema nervoso reage imediatamente à apresentação de tais estímulos, e consegue promover rápido desenvolvimento na AV.

A hipótese de que ocorrem mudanças no cérebro por resultado de experiência visual surgiu por volta de 1815 com Spurzheim (Diamond,

2001). Hoje se sabe que embora o encéfalo possua uma organização macro-estrutural relativamente constante, o córtex cerebral, com sua microarquitetura complexa e de potencial desconhecido, é fortemente moldado por experiências mesmo antes do nascimento, durante a juventude, e em verdade, ao longo de toda a vida (Diamond, 2001).

O repertório comportamental limitado dos recém-nascidos e a dificuldade de avaliá-los levaram cientistas visuais a desenvolver adaptações dos testes psicofísicos e eletrofisiológicos clássicos para recém-nascidos e crianças pré-verbais. Os diferentes métodos - eletrofisiológicos ou comportamentais - utilizados para acessar as funções visuais correspondem evidentemente a diferentes estágios na hierarquia do processamento visual (Norcia & Manny, 2003).

As primeiras medidas visuais de crianças foram realizadas na década de 1950 com a técnica de Olhar Preferencial de Escolha Forçada (Fantz, 1958 apud Teller, 1997). Nesta técnica os bebês são confrontados com séries de pares de estímulos padronizados enquanto que adultos observam vários aspectos do comportamento ocular das mesmas (direção do primeiro olhar, tempo do olhar para cada estímulo, e a quantidade de vezes que os bebês olham para cada estímulo). Esta técnica foi adaptada para crianças acima de 5 meses, que não cooperam com todas as etapas do teste por livre e espontânea vontade. A adaptação inclui a utilização de reforço operante após as tentativas, e o teste passou a ser chamado de Olhar Preferencial Operante (Mayer & Dobson, 1982). O longo tempo necessário para a aplicação das técnicas de Olhar Preferencial de Escolha Forçada e Olhar

Preferencial Operante levou pesquisadores a desenvolverem mais uma adaptação metodológica para a testagem, e os cartões de acuidade de Teller foram criados (McDonald et al., 1985) com o objetivo de adequar o teste à prática clínica pediátrica oftalmológica. Nesta adaptação um conjunto de cartões com grades de frequências espaciais distintas era apresentado à criança, e a cada acerto (observação ao estímulo) grades mais finas (com frequência espacial mais alta) eram apresentadas até que seu limiar de sensibilidade fosse alcançado, e a frequência espacial do último cartão observado corretamente pela criança correspondia a uma estimativa da sua acuidade (figura 14).

Fig. 14 – Teste de AV com os cartões de acuidade de Teller (Teller, 1997).

Resultados de uma série de validações dos cartões de acuidade de Teller mostraram que as acuidades podem ser estimadas em menos de 5

minutos e a variabilidade intra-observador e inter-observador é muito baixa (e. g, Salomão & Ventura, 1995; Mayer et al., 1995).

Posteriormente duas outras técnicas foram desenvolvidas para avaliar a visão em crianças: o Nistagmo Optocinético, realizado através de movimentos oculares reflexos referentes a estímulos apresentados em movimento, e o Potencial Visual Cortical Provocado (PVCP), realizado através de eletrodos que captam a atividade elétrica cortical referente a estímulos padronizados.

Olhar Preferencial e PVCP têm relação com o estágio inicial da hierarquia do processamento visual, já o Nistagmo Optocinético possui classificação dificultada dentro desta hierarquia devido ao possível envolvimento de mecanismos subcorticais utilizados no controle dos movimentos oculares (Norcia & Manny, 2003).

Dobson & Teller (1978) realizaram uma revisão com o objetivo de comparar o desenvolvimento da AV durante o primeiro semestre de vida medido pelas técnicas de Olhar Preferencial, Nistagmo Optocinético e PVCP, tendo concluído que há concordância entre essas medidas. Mas apesar da concordância, houve diferença nos valores encontrados em cada teste. Os resultados de Olhar Preferencial e os de Nistagmo Optocinético foram muito semelhantes, porém os de PVCP apresentaram tendência de elevação. As diferenças de resultados do PVCP são atribuídas a fatores como:

- a natureza do estímulo visual apresentado, comumente grades estacionárias nos métodos comportamentais e grades moduladas temporalmente nos métodos eletrofisiológicos;
- a utilização de valores de média para o sinal do registro eletrofisiológico, além da somação de sinais sobre todo o campo visual;
- métodos eletrofisiológicos, como o PVCP, refletem apenas os aspectos sensoriais do sistema visual, dos fotorreceptores ao córtex occipital, enquanto que métodos comportamentais, como o Olhar Preferencial, possivelmente envolvem outras estruturas como o córtex associativo e o motor;
- o nível do critério de resposta escolhido por cada investigador em cada método também apresenta diferenças significativas (Dobson & Teller, 1978; Sokol, 1978; Teller, 1997).

A AV de um recém-nascido apresenta uma limitação de aproximadamente 50 vezes quando comparada com a mesma função visual de um adulto, mas esta função mostra um desenvolvimento rápido nos primeiros seis meses de vida (Dobson & Teller, 1978; Maurer et al., 1999; Norcia & Tyler, 1985; Salomão & Ventura, 1995; Schwartz, 2004; Sokol, 1978).

Salomão & Ventura (1995) realizaram normas para os cartões de acuidade de Teller. Avaliaram a AV de crianças divididas em grupos de idade de 2 em 2 meses e mostraram que existe diferença significativa na AV

de crianças de 2 meses comparadas com as de 4 meses, e de 4 meses comparadas com as de 6 meses, mas acima dos 6 meses o aumento gradual na AV não se mostrou significante, confirmando o aumento importante desta função visual no primeiro semestre de vida (figura 15).

Fig. 15 - A. Acuidade binocular média $\pm$ EP e limites de tolerância para 90% da população com 95% de probabilidade, baseados em dados de 646 bebês e crianças saudáveis, em função da idade. B. Acuidade monocular média $\pm$ EP e limites de tolerância para 90% da população com 95% de probabilidade, baseados em dados de 624 bebês e crianças saudáveis, em função da idade. (Salomão e Ventura, 1995)

Existe um período prolongado de desenvolvimento pós-natal, que se estende do terceiro ao quinto ano de vida, em que a visão espacial alcança os níveis de um adulto (Boothe et al., 1988). A AV de um adulto saudável é igual ou superior a 30 cpg (equivalente 20/20 na escala Snellen) enquanto que uma criança saudável durante o primeiro mês de vida resolve aproximadamente 1 cpg (20/600 Snellen) alcançando os valores do adulto por volta do seu terceiro ano completo, em medidas comportamentais (Teller, 1990).¹

Normas para os cartões de acuidade de Teller também foram realizadas por Mayer et al. (1995) como mostra a figura 16, e seus resultados exemplificam os achados de Boothe et al. (1988), Teller (1990) e Salomão e Ventura (1995).

---

¹ A conversão dos limiares de AV expressos em ângulo visual para acuidade de Snellen é consumada pela multiplicação dos minutos de arco por um fator de 20. É assim obtido o denominador da fração de Snellen. A acuidade de Snellen de 20/20 é equivalente a um limiar de resolução visual de 1 minuto de arco (Sokol, 1978).

Fig. 16 – Normas para o Teste de AV com os cartões de acuidade de Teller, realizadas por Mayer et al., (1995) (Teller, 1997).

Similarmente à AV, a FSC, consideravelmente imatura ao nascimento tanto na forma quanto nos valores de sensibilidade, também apresenta um desenvolvimento rápido no primeiro ano de vida (Norcia, Tyler & Hamer, 1990; Oliveira et al., 2004). As primeiras medidas da FSC de crianças foram realizadas aproximadamente três décadas atrás, com (Atkinson, Braddick, & Braddick, 1974; Banks & Salapatek, 1976), que avaliaram crianças com 2 meses de vida e encontraram a SC consideravelmente reduzida com relação à mesma dos adultos (figura 17).

Fig. 17 – Média da FSC para crianças de 2 meses de idade e adultos. Os limiares de contraste são plotados contra frequências espaciais. A linha pontilhada representa uma porção típica da FSC de altas frequências espaciais em adultos (Banks & Salapatek 1976).

Em 1977, Atkinson, Braddick, & Moar mostraram que ocorre um desenvolvimento qualitativo e quantitativo na FSC durante as primeiras semanas de vida avaliando crianças com 5, 8 e 12 semanas de idade e associaram esta melhora na FSC de crianças no segundo mês de vida com o desenvolvimento rápido e abrangente que ocorre nas regiões relacionadas à visão no sistema nervoso humano neste período.

Estudos sobre o desenvolvimento da FSC também foram realizados em modelos animais. Boothe et al. (1988) avaliaram três parâmetros da FSC: o valor do pico de sensibilidade, a frequência espacial em que se encontra o pico de sensibilidade, e as frequências espaciais da banda de passagem da *Macaca nemestrina*. Os autores encontraram um

desenvolvimento rápido entre a décima e a vigésima semana de vida, seguido de um desenvolvimento gradual, mais lento, após este período. Os três parâmetros da FSC avaliados mostraram um padrão de desenvolvimento semelhante (figura 18).

Fig. 18 - Desenvolvimento de três parâmetros da FSC da *Macaca nemestrina*: o valor do pico de sensibilidade (A), a frequência espacial em que se encontra o pico de sensibilidade (B), e as frequências espaciais da banda de passagem (C). Os dados plotados são de dois macacos representativos: o de desenvolvimento mais rápido ($\diamond$), e o de desenvolvimento mais lento ($\square$) (Boothe et al., 1988).

Montés-Micó & Ferrer-Blasco (2001), utilizando o *Vistech Contrast Sensitivity Test System*, avaliaram monocularmente crianças entre 3 e 7 anos

de idade e encontraram um desenvolvimento discreto e lento na FSC durante este período.

Utilizando um teste desenvolvido pelos próprios autores para avaliar a FSC baseado nos cartões de acuidade visual de Teller, Adams & Courage (2002) avaliaram crianças de 4 a 9 anos e adultos. Posteriormente adicionaram estes dados aos de dois trabalhos desenvolvidos anteriormente (Adams et al., 1992; Adams & Courage, 1993) nos quais avaliaram bebês de 1 mês a 3 anos de idade. Os resultados mostraram um desenvolvimento qualitativo e quantitativo da FSC neste período, com destaque para a maturação completa desta função ocorrendo aos 9 anos de idade e para o aumento da SC para as frequências espaciais mais altas nas idades mais elevadas (figura 19).

Fig. 19 - Desenvolvimento da FSC desde o primeiro mês de vida até a maturidade com as médias e os erros padrão de cada frequência espacial em cada idade avaliada (Adams & Courage, 2002).

Medidas de resolução temporal foram realizadas em crianças para verificar sua frequência crítica de fusão de estímulos intermitentes (variação temporal). Os resultados mostraram uma boa resolução já no primeiro mês de vida, de aproximadamente 40 Hz evoluindo para aproximados 50 Hz aos 2 meses e 52 Hz no terceiro mês, aproximando-se dos adultos que alcançam 55 Hz (Regal, 1981).

Medidas da sensibilidade ao contraste temporal ou FSC temporal propiciam uma descrição mais completa da visão temporal que apenas a medida da frequência crítica de fusão, feita com contraste máximo. Foram avaliadas quanto ao desenvolvimento em crianças com idades variando entre 2 e 4 meses, através de uma variante da técnica de Olhar Preferencial. Os resultados mostraram que esta função, assim como a FSC espacial, se modifica em função com o aumento da idade (Rasengane, Allen & Manny, 1997).

Crianças com três meses de idade e adultos foram avaliados quanto à FSC temporal com estímulos cromáticos e de luminância que incluíam grades em movimento e grades em contra-fase, e os resultados, apresentados na figura 20, mostram rebaixamento da sensibilidade das crianças para ambos os estímulos e ambos os tipos de grades, porém sem alteração da frequência de pico de sensibilidade, como ocorre com o desenvolvimento da FSC espacial (Dobkins & Teller, 1995; Dobkins, Lia & Teller, 1997).

Grades de Luminância

○ Movimento
□ Contra-fase

Grades Cromáticas

● Movimento
■ Contra-fase

Fig. 20 - FSC temporal cromática e de luminância com estímulos de grades em movimento e em contra-fase, medidas por Dobkins, Lia & Teller (1995) e Dobkins & Teller (1997) (Teller, 1997).

Conforme pode ser observado nos trabalhos de Dobkins & Teller (1997), crianças com três meses de idade demonstram sensibilidade para estímulos cromáticos. Existe grande concordância científica entre laboratórios e técnicas distintas, sugerindo que a discriminação verde-vermelho emerge no segundo mês de vida na maioria das crianças. A emergência de discriminações no eixo tritan é menos estudada, e os poucos trabalhos existentes apresentam muitas contradições (Teller, 1997).

A capacidade de estereopsia, habilidade de percepção de profundidade com base na disparidade binocular, também foi alvo de

pesquisas sobre desenvolvimento visual. Muitos pesquisadores mostraram, por diferentes técnicas, ausência de respostas para estereopsia em quase todas as crianças com menos de 3 meses de idade, e início dessa capacidade entre o terceiro e o quinto mês de vida, mas com curso de desenvolvimento abrupto com relação ao desenvolvimento da acuidade visual de grades, alcançando valores adultos já por volta do sexto mês de vida (Norcia & Manny, 2003; Teller 1997).

Assim como a estereopsia, a acuidade vernier - medida da menor separação visível entre dois estímulos - apresenta curso de desenvolvimento mais abrupto que o da acuidade grades, mas menos abrupto que encontrado para a estereopsia. A acuidade vernier alcança níveis adultos por volta dos 60 meses de vida, de forma semelhante à acuidade de grades (Teller 1997).

O desenvolvimento de funções visuais em prematuros apresenta resultados conflitantes na literatura. Enquanto alguns autores encontram prejuízos, outros encontram pouca ou nenhuma perda.

Jongmans et al. (1996) encontraram uma diminuição (classificada como de nível médio na maioria dos casos) na AV, além de alteração na estereopsia em crianças com 6 anos de idade nascidas prematuramente, mas vários fatores importantes como erro refrativo, estrabismo, ambliopia, e lesão da região pós-quiasmática da via visual podem ter contribuído para os resultados alterados destas crianças.

Salomão et al. (2001) avaliaram pacientes pré-termo com baixa atenção visual e/ou falta de fixação e lesão retroquiasmática, mas com fundo de olho normal, e encontraram perda de visão bilateral e/ou

ambliopia corroborando o diagnóstico de lesão cortical visual neste grupo de pacientes.

Avaliações visuais em crianças nascidas prematuras com lesão cortical visual sem patologias oculares primárias também foram realizadas por Pike et al. (1994), que encontraram perdas visuais associadas em maior grau com lesões corticais isquêmicas que com lesões hemorrágicas.

Morante et al. (1982) avaliaram funções visuais de acuidade e de preferência de padrões em recém-nascidos a termo e prematuros. Os prematuros foram classificados em dois grupos: grupo de baixo risco (com achados de exames neurológicos normais), e grupo com achados anormais no exame neurológico (grupo de maior risco). Os prematuros do grupo de baixo risco apresentaram diferenças em relação aos controles apenas na avaliação por preferência de padrões, pois não apresentaram diferenças nas medidas da AV. Já os prematuros do grupo com exame neurológico anormal apresentaram resultados inferiores aos controles tanto na avaliação por preferência de padrões quanto na avaliação da AV.

Mash & Dobson (1998) avaliaram a AV de 129 crianças nascidas prematuramente e/ou que sofreram algum tipo de complicação perinatal, pelo fato destas crianças serem mais propensas a alterações oculares e visuais, e encontraram um número pequeno de sujeitos com a AV alterada.

Van Hof-van Duin & Mohn (1986) demonstraram que a AV avaliada pela técnica de olhar preferencial de escolha forçada apresenta resultados similares para prematuros com complicações perinatais mínimas e bebês nascidos a termo.

As respostas de bastonetes, respostas máximas, e de cones com *flicker* de 30 Hz no eletrorretinograma de campo total, sinais elétricos de massa gerados pela retina em resposta a estímulos visuais, apresentaram formas de ondas e parâmetros similares entre recém-nascidos prematuros saudáveis com 5 semanas de idade corrigida e controles da mesma idade (Berezovsky et al., 2003).

As latências das respostas do PVCP de padrão reverso não apresentaram diferenças significativas entre prematuros e termos com a mesma idade gestacional (Kos-Pietro et al., 1997). Nenhum processo de aceleração de desenvolvimento da resolução visual ou de diminuição precoce da latência de resposta como resultado da experiência visual precoce dos prematuros foi observado também neste grupo de pacientes (Kos-Pietro et al., 1997).

Rudduck & Harding (1994), utilizando também o PVCP de padrão reverso na avaliação de bebês prematuros com mais de 30 semanas de idade gestacional e de bebês nascidos a termo, encontraram uma morfologia similar no PVCP dos 2 grupos, apesar dos prematuros terem apresentado aumento na amplitude e redução na latência das respostas de acordo com o aumento da idade gestacional.

Amplitude e latência dos componentes N1 e P1 das respostas de PVCP de padrão reverso a estímulos específicos para avaliar as vias magno e parvocelular foram avaliadas por Hammarrenger et al. (2007) em termos e prematuros saudáveis também nascidos com muito baixo peso. A faixa etária acima de 16 semanas de idade corrigida dos prematuros apresentou

resultados inferiores aos das crianças nascidas a termo para estímulos associados à vias magnocelular.

Prematuros também foram avaliados quanto à FSC em um teste psicofísico computadorizado, mas os exames foram realizados entre 7 e 13 anos de idade e não durante a fase de desenvolvimento da função. Os resultados mostraram uma melhora discreta na FSC com o aumento da idade, e a FSC dos prematuros não apresentou diferenças estatísticas significativas quando comparada com a mesma dos sujeitos nascidos a termo (Jackson et al., 2003).

Outro estudo com prematuros além de crianças nascidas pequenas para a idade gestacional foi realizado durante a fase de adolescência dos sujeitos, e avaliou funções visuais como a AV, a FSC utilizando-se os cartões de teste *Vistech*, o campo visual, erros refrativos e a utilização de correção visual. Resultados inferiores foram encontrados na AV, FSC e utilização de correção visual dos prematuros com relação ao grupo controle. O grupo nascido pequeno para a idade gestacional apresentou um risco maior de hipermetropia com relação ao grupo controle (Lindqvist et al., 2007).

Em virtude de todos esses fatores que podem acometer crianças nascidas prematuramente torna-se de grande valia a utilização de equipamentos que forneçam diagnósticos funcionais mais completos que os obtidos normalmente na prática clínica. A tabela 1 apresenta a seguir um resumo dos dados dos estudos descritos.

Tabela 1 – Resumo dos dados de estudos realizados com bebês nascidos prematuros			
Autores	Amostra	Função medida	Resultado *
Jongmans et al., 1996	Prematuros	AV, Esteropsia	Diminuída
Salomão et al., 2001	Prematuros com lesão cortical	AV	Diminuída
Pike et al., 1994	Prematuros com lesão cortical	AV	Diminuída
Morante et al., 1982	Prematuros de baixo e de alto risco	AV Preferência por padrões	Diminuída
Mash & Dobson, 1998	Prematuros	AV	Pouca alteração
Van Hof-van Duin & Mohn, 1986	Prematuros	AV	Sem alteração
Berezovsky et al., 2003	Prematuros saudáveis	ERG	Sem alteração
Kos-Pietro et al., 1997	Prematuros saudáveis	PVCP de padrão reverso	Sem alteração
Rudduck & Harding, 1994	Prematuros com mais de 30 semanas de idade	PVCP de padrão reverso	Sem alteração na morfologia da onda
Hammarrenger et al., 2007	Prematuros com peso muito baixo avaliados com 16 semanas	PVCP de padrão reverso com estímulos para magno e parvo	Diminuição para estímulos da via magnocelular
Jackson et al., 2003	Prematuros avaliados dos 7 aos 13 anos de idade	FSC	Sem alteração
Lindqvist et al., 2007	Prematuros avaliados na adolescência	AV, FSC, campo visual, erro refrativo, correção visual	Diminuição de AV, FSC e utilização de correção visual, maior hipermetropia

* comparado a sujeitos nascidos a termo

I . 6 - Potencial Visual Cortical Provocado (PVCP)

O exame de PVCP permite o diagnóstico e o acompanhamento de possíveis problemas nas vias visuais. Este exame é não invasivo e de realização relativamente rápida, além de não exigir muita cooperação do

paciente, pois baseia-se em respostas neurais para as quais basta que o paciente olhe para os estímulos.

O PVCP representa uma parte da atividade do córtex visual em resposta à informação visual que passa pelos meios ópticos do olho e é processada pela retina e pela via genículo-estriada (Norcia & Tyler, 1985). É um sinal eletrofisiológico registrado no escalpo, usando técnicas padronizadas de eletroencefalograma (Harding et al., 1996). A presença de uma resposta provocada indica que a via visual resolveu a informação do estímulo até o ponto no sistema visual onde a resposta é gerada (Norcia & Tyler, 1985).

Três tipos de estímulo são comumente usados:

- PVCP por pulsos de luz – pulsos difusos de luz de aproximadamente 3 cd/m^2 com duração máxima de 5 ms são apresentados por um fotoestimulador de arco de xenônio e se projetam em pelo menos 20 graus da retina;
- PVCP por reversão de padrões – grades pretas e brancas excedendo 15 graus de ângulo visual são alternadas temporalmente a uma taxa de reversão especificada (geralmente por volta de 6 Hz) sem modificar a luminância média da tela, e o estímulo é definido em termos da frequência espacial destas grades (o estímulo também pode ser um padrão do tipo tabuleiro de xadrez);
- PVCP por padrão aparece-desaparece (on/off) – um padrão (com estímulos semelhantes aos do padrão reverso) é apresentado por

aproximadamente 200ms e logo em seguida abruptamente trocado por um fundo difuso eqüiluminante por cerca de 400 ms sem que seja modificada a luminância média da tela (Harding et al., 1996).

Em humanos, o PVCP tem sido utilizado para a avaliação da AV de resolução de grades, principalmente em recém-nascidos e crianças. Em contrapartida com o estado da criança que se modifica rapidamente e sua fixação e atenção que são dois parâmetros difíceis de se controlar, as crianças possuem amplitudes de PVCP maiores que as dos adultos. Isto ocorre parcialmente devido ao fato da espessura dos ossos do crânio da criança ser menor que a do adulto. Assim os sinais do PVCP em crianças são ainda maiores com relação ao ruído intrínseco do cérebro (como atividades musculares) (Norcia et al., 1989).

Sokol (1978), utilizando PVCPs de padrão reverso em bebês normais, observou que a acuidade visual melhorava de 20/150 aos dois meses de vida, para o valor de 20/20, equivalente ao de adultos normais, por volta do sexto ao oitavo mês de vida, diferentemente dos métodos comportamentais aos quais foram registradas AVs que variam de 20/600 a 20/400 ao nascimento a 20/20 entre 36 e 60 meses de idade (Birch & Bane, 1991; Courage & Adams, 1990).

A razão sinal-ruído mais alta e a baixa capacidade de fixação dos estímulos pelos bebês, levaram naturalmente os pesquisadores a desenvolver uma metodologia computacional de apresentação na qual os parâmetros podiam automaticamente varrer a faixa de interesse e as respostas resultantes podiam ao mesmo tempo ser enviadas para uma análise

espectral em tempo real (online) (Norcia et al., 1989). É o que acontece em um exame de PVCP de Varredura de frequências espaciais. Nesta técnica, grades (de onda quadrada ou senoidal) são apresentadas sucessivamente variando em frequência espacial, desde frequências baixas até frequências altas, em uma faixa de frequências em torno da AV, propiciando uma medida do limiar sensorial. Alterações destas respostas refletem lesão ou disfunção das vias visuais (Norcia et al., 1989). Ao invés de varrer dentro de uma gama de frequências espaciais pode-se fazer o mesmo para uma gama de contrastes em uma frequência espacial fixa, em situação acromática ou cromática. Nesse caso é medido um limiar de contraste para cada frequência espacial.

Os PVCPs de Varredura têm sido utilizados para avaliações de funções como AV (Allen, Tyler & Norcia, 1996; da Costa et al., 2004; Hamer et al., 1989; Haro, 2003; Mazzitelli, 2002; Norcia & Tyler, 1985; Salomão et al., 2001; Shannon, Skoczenski & Banks, 1996), e FSC de luminância e/ou cromática (Allen, Tyler, & Norcia, 1996; Hamer et al., 1989; Haro, 2003; Kelly, Borchert, & Teller, 1997; Kelly & Chang, 2000; Norcia & Tyler, 1985; Norcia et al., 1989; Norcia, Tyler & Hamer, 1990; Oliveira et al., 2004).

Norcia & Tyler (1985) avaliaram a AV de 197 crianças entre a primeira e a 53ª semana de vida utilizando o PVCP de Varredura, e encontraram por volta do oitavo mês de vida os primeiros resultados com valores de AV equivalentes aos de um adulto. Apesar disto, a média da AV do grupo com idades de 8 a 13 meses (aproximadamente 20 cpg) não atingiu

a média dos adultos (aproximadamente 24 cpg) devido ao baixo resultado da AV (aproximadamente 17 cpg) do grupo de crianças com idade aproximada de 12 meses (n=11).

Hamer et al. (1989), utilizando a mesma técnica, encontraram por volta do oitavo mês de vida valores de AV equivalentes a 14 cpg, diferentemente de Norcia & Tyler (1985), que encontraram 20 cpg, um valor semelhante ao dos adultos, e a explicação para a diferença nos resultados recorre a diferenças metodológicas. Norcia & Tyler (1985) utilizaram uma curva de crescimento da AV baseada no melhor resultado estimado de acuidade de cada criança, enquanto que Hamer et al. (1989) se basearam na média geométrica das acuidades estimadas. Os autores ainda demonstraram não haver diferença estatística significativa entre resultados de testes monoculares e binoculares com o PVCP de Varredura em nenhuma etapa do desenvolvimento visual.

O desenvolvimento da AV de resolução de grades foi maior no centro em relação à periferia do campo visual enquanto que o desenvolvimento da SC foi similar nos campos centrais e periféricos da visão, em crianças de 10 a 39 semanas avaliadas com uma variante do PVCP de Varredura (Allen, Tyler & Norcia, 1996).

Avaliações psicofísicas e eletrofisiológicas (PVCP de Varredura) da FSC de adultos foram comparadas entre si e mostraram que a sensibilidade psicofísica é ligeiramente mais alta que a eletrofisiológica nesta função (Norcia, Tyler & Hamer, 1990).

Comparações entre metodologia psicofísica e eletrofisiológica (PVCP de Varredura) também foram realizadas por Allen, Banks & Norcia (1993), que ao contrário de Norcia, Tyler & Hamer (1990), não encontraram diferenças estatísticas significativas entre os resultados dos dois métodos para nenhum dos estímulos acromáticos e cromáticos avaliados em adultos.

Shannon, Skoczenski & Banks (1996) avaliaram a SC de luminância em diferentes frequências espaciais, em bebês de 2 e 3 meses de idade e adultos, utilizando o PVCP de Varredura e variando a luminância do estímulo. Conforme esperado, eles encontraram que após um nível ideal de luminância, os limiares de contraste diminuía à medida que a luminância era aumentada, em todas as frequências espaciais, tanto nos bebês quanto nos adultos. Como conclusão eles relataram que nenhum dos modelos relacionando imaturidades ópticas e de receptores para a visão espacial em crianças conseguiu explicar a relação entre a diminuição da capacidade de captação de fótons pela retina e a SC.

A tabela 2 apresenta a seguir um resumo dos dados dos estudos realizados com o PVCP.

Tabela 2 – Resumo dos dados de estudos realizados com Potencial Visual Cortical Provocado			
Autores	Amostra	Função medida	Resultado
Norcia & Tyler, 1985	Crianças entre a primeira e a 53ª semana	AV	Curva de desenvolvimento se estabiliza no 8º mês de vida com 20 cpg
Hamer et al., 1989	Crianças entre 2 e 52 semanas	AV	Idem com 14 cpg e desenvolvimento da AV maior no centro que na periferia
Allen, Banks & Norcia, 1993	Adultos	AV	Resultado psicofísico mostra SC mais alta que eletrofisiológico
Shannon, Skoczenski & Banks, 1996	Bebês de 2 e 3 meses e adultos	SC	Após um nível ideal de luminância a SC diminui com o aumento da luminância
Allen, Banks & Norcia, 1993	Bebês de 2 a 8 semanas	SC cromática	Inferior à SC de adultos
Kelly, Borchert & Teller, 1997	Bebês de 8, 14, 20 e 32 semanas e adultos	SC cromática e acromática	Maturação mais rápida da SC cromática em relação à acromática
Norcia, Tyler e Hamer, 1990	Bebês de até 30 semanas de vida	SC	Desenvolvimento das baixas frequências espaciais até a 10ª semana e das altas até a 30ª semana
Kelly & Chang, 2000	Bebês de 14, 20 e 32 semanas de idade	detecção dos contornos cromáticos e de luminância	A detecção de contornos não difere em função da idade
Baraldi et al., 1981	Prematuros	AV medida por PCVP e Olhar Preferencial	AV melhor no Olhar Preferencial
Mirabella et al., 2006	Prematuros com muito baixo peso	AV, FSC, e a acuidade vernier	Sem alteração comparado com termos
Haro, 2003	Prematuros com e sem alteração de desenvolvimento neuropsicomotor	AV	Maior nos rematuros sem alteração de desenvolvimento que nos termos
Mazzitelli, 2002	Prematuros e termos	AV	AV não difere entre prematuros e termos

Allen, Banks & Norcia (1993) mostraram que a SC cromática medida pelo PVCP de Varredura em crianças de 2 a 8 semanas variando a mistura de componentes verde e vermelho é inferior à sensibilidade de adultos.

O PVCP de Varredura foi novamente utilizado para avaliar o desenvolvimento da FSC espacial, cromática (verde/vermelho) e também acromática, em crianças de 8, 14, 20 e 32 semanas de idade e de adultos, revelando diferenças tanto na sensibilidade quanto na forma da curva de sensibilidade nas avaliações acromáticas e cromáticas com relação à idade. Além disto, os dados sugeriram uma maturação mais rápida da FSC espacial cromática com relação à acromática, evidenciando a existência estágios de desenvolvimento distintos para cada função visual (Kelly, Borchert & Teller, 1997).

A detecção dos contornos cromáticos e de luminância medida pelo PVCP de Varredura, diferentemente dos limiares de sensibilidade, não apresentou modificações significativas com relação à idade em crianças avaliadas com 14, 20 e 32 semanas (Kelly & Chang, 2000).

Outro estudo importante sobre o desenvolvimento da FSC utilizando o PVCP de Varredura foi realizado por Norcia, Tyler & Hamer (1990), e mostrou que a SC para frequências espaciais mais baixas se desenvolve rapidamente nas primeiras 10 semanas após o nascimento, diferentemente das mais altas, que continuam seu desenvolvimento até cerca de 30 semanas de vida, alcançando os limiares de um adulto saudável. Os resultados deste estudo se mostraram extremamente mais altos que os obtidos no trabalho de Pirchio et al. (1978), e estas diferenças foram atribuídas ao valor da

luminância utilizada por Norcia, Tyler & Hamer (1990), de 220 cd/m², aproximadamente 50 vezes maior que a utilizada por Pirchio et al. (1978). O tempo de desenvolvimento da FSC, mais rápido no estudo de Norcia, Tyler & Hamer (1990), também se mostrou uma diferença importante entre estes trabalhos.

O PVCP de Varredura também foi utilizado para avaliar o desenvolvimento visual em bebês nascidos prematuros. Baraldi et al. (1981) compararam crianças nascidas a termo com prematuras utilizando PVCP e Olhar Preferencial de escolha forçada para medir a AV tendo demonstrado uma melhor AV nos sujeitos prematuros avaliados pelo método de olhar preferencial de escolha forçada e ausência de diferença quando avaliadas pelo PVCP.

A AV, FSC, e a acuidade de vernier foram avaliadas pelo método de PVCP de Varredura em termos e prematuros saudáveis com idades entre 5 e 7 meses e nascidos com muito baixo peso (< 1500g), e nenhuma das três medidas apresentou diferença significativa de limiares comparando-se os dois grupos de sujeitos. Os autores encontraram apenas diferenças na amplitude das respostas com os prematuros apresentando melhores amplitudes nas medidas de sensibilidade ao contraste e de acuidade de vernier, mas sem influenciar nos resultados das medidas (Mirabella et al., 2006).

Haro (2003) traçou o desenvolvimento da AV de resolução de grades pelo método do PVCP de Varredura em bebês nascidos a termo e prematuros com e sem alteração de desenvolvimento neuropsicomotor. Os resultados

mostraram que a AV ao nascimento nos bebês nascidos prematuros sem alteração de desenvolvimento neuropsicomotor é maior que nos bebês nascidos a termo, mas o desenvolvimento mais rápido do grupo nascido a termo corrige a diferença com relação a estes prematuros. Já os prematuros com alteração de desenvolvimento neuropsicomotor apresentaram diminuição da AV desde o nascimento até o fim do primeiro ano de vida quando comparados com o grupo nascido a termo.

Outro estudo sobre o desenvolvimento da AV de resolução de grades realizado por Mazzitelli (2002), que também utilizou a técnica de PVCP de Varredura, mostrou que a AV não difere entre crianças nascidas a termo e prematuras.

Em conclusão, uma série de trabalhos já foi realizada avaliando a AV em quase todos os tipos de pacientes, inclusive prematuros, mas poucos trabalhos abordaram a FSC visual, e uma quantidade muito menor dedicou-se a prematuros.

O objetivo de avaliar a FSC, além da AV, em prematuros, justifica-se por não ter sido encontrado nenhum trabalho medindo a FSC de prematuros com o PVCP de Varredura, e pelo fato de o método do PVCP de Varredura proporcionar, em tempo reduzido uma avaliação da visão espacial com relação à AV e SC para pacientes não verbais, minimizando as influências que podem ocorrer e interferir nos resultados destes mesmos testes (AV e SC) por medidas comportamentais.

II – Objetivos

O presente estudo tem por finalidade:

A – determinar o desenvolvimento das Funções de AV e de SC nas frequências espaciais 0,2, 0,8, 2,0 e 4,0 cpg durante o primeiro ano de vida (com foco maior para as idades de 4, 6 e 12 meses) em bebês prematuros e nascidos a termo;

B - determinar se há ou não correlação entre os valores da FSC com o Peso ao nascimento, o Índice de Apgar, e a Idade gestacional destes prematuros.

III - Métodos

III . 1 – Participantes

57 bebês saudáveis de ambos os sexos (31 masculino e 26 feminino), sem diagnóstico de doenças sistêmicas ou neurológicas, durante o primeiro ano de vida, foram encaminhados do Setor de Pediatria do Hospital Universitário da Universidade de São Paulo. Os responsáveis pelos bebês que aceitaram participar do estudo assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido tomando ciência de todos os procedimentos utilizados (anexo I).

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital Universitário da USP (anexo II).

Os bebês foram separados previamente em dois grupos: nascidos a termo (n=26) e prematuros (n=31). Os bebês foram avaliados quanto às funções de AV e SC em diversas idades, com foco maior aos 4, 6 e 12 meses, e foram totalizadas 116 avaliações, das quais 49 em bebês nascidos a

termo e 67 em bebês nascidos prematuros. Prematuridade foi definida como nascimento com idade gestacional inferior a 37 semanas (7/7 dias).

Além dos bebês, 23 adultos saudáveis de ambos os sexos participaram dos experimentos. A AV foi avaliada em 9 (5 masculino e 4 feminino, com média de idade de 21,9 anos) dos 23 participantes, e a FSC em 14 (8 masculino e 6 feminino, com média de idade de 39,5 anos) nas mesmas frequências espaciais testadas nos bebês.

Os critérios de inclusão foram: exame oftalmológico com fundo de olho normal e exames clínicos e laboratoriais disponíveis com ausência de qualquer evidência de doenças neurológicas ou sistêmicas. Todos os prematuros realizaram exame de ultrassonografia de crânio, e somente aqueles com resultados normais foram selecionados para o trabalho.

Um bebê do sexo feminino nascido prematuro apresentou resultado de AV diminuído para a idade na sua segunda sessão de exames e seus dois testes (de AV e SC), realizados numa sessão anterior e na sessão em que ele apresentou baixa AV, foram excluídos da análise dos dados.

Quatro bebês, 2 nascidos a termo e 2 nascidos prematuramente, foram trazidos para o primeiro exame com idade superior a 12 meses, e seus testes de AV e SC não foram selecionados para o trabalho.

Durante a realização de 13 exames de SC os bebês não foram capazes de completar o teste em todas as 4 frequências espaciais com os critérios adequados para a análise dos dados, e os resultados destas frequências espaciais foram excluídos. O mesmo ocorreu em 2 exames com bebês nascidos a termo. Esta diferença entre os exames de prematuros e termos é

justificada pelo maior número de exames antes dos 3 meses realizados nos prematuros, faixa etária em que ocorreu a maioria das falhas na avaliação de alguma das 4 frequências espaciais (7 das 13 falhas nos prematuros). No período antes dos 3 meses foram realizados 18 exames em bebês prematuros e apenas 12 em bebês nascidos a termo.

A tabela 3 apresenta os dados demográficos de todos os bebês nascidos a termo avaliados durante a realização do trabalho.

Tabela 3 - Dados demográficos dos bebês nascidos a termo							
Código	Sexo	Clase	Data	Data	Idade	Apgar	Peso
			Nascimento	Provável	Gestacional	1 / 5 / 10	
1	F	T	18/02/2001	18/02/2001	40	7 8	2280
2	F	T	17/04/2001	17/04/2001	40	8 10	2885
3	M	T	03/07/2001	07/07/2001	39	9 10	3230
4	M	T	13/12/2001	16/12/2001	39	8 9	3700
5	F	T	21/06/2002	27/06/2002	40	7 9	3890
6	M	T	10/12/2002	10/12/2002	40	9 10	3170
7	M	T	20/12/2002	10/01/2003	37	9 10	2865
8	F	T	18/02/2003	25/02/2003	39	9 10	3550
9	F	T	27/03/2003	10/04/2003	38	8 10	3330
10	M	T	22/05/2003	22/05/2003	40	8 9	3750
11	M	T	06/06/2003	08/06/2003	39	8 9	3145
12	M	T	09/10/2003	12/10/2003	40	4 6	3025
13	F	T	06/04/2004	07/04/2004	39	7 9	2745
14	F	T	05/06/2004	05/06/2004	40	4 7	3420
15	M	T	11/08/2004	18/08/2004	39	8 9	3480
16	M	T	05/09/2004	18/09/2004	38	7 9	2580
17	M	T	13/09/2004	15/09/2004	39	8 9	2495
18	F	T	29/12/2004	12/01/2005	38	9 10	2940
19	M	T	10/04/2005	17/04/2005	39	8 9	3560
20	F	T	25/04/2005	25/04/2005	40	9 10	3160
21	F	T	06/05/2005	06/05/2005	40	8 9	3255
22	M	T	19/06/2005	03/07/2005	38	9 10	3260
23	M	T	23/10/2005	30/10/2005	39	10 10	3200
24	M	T	31/10/2005	07/11/2005	39	10 10	3440
25	F	T	14/11/2005	21/11/2005	39	10 10	2975
26	M	T	20/11/2005	20/11/2005	40	9 10	3150

A tabela 4 apresenta os dados demográficos de todos os bebês nascidos prematuros avaliados durante a realização do trabalho.

Tabela 4 – Dados demográficos dos bebês nascidos prematuros							
Código	Sexo	Clase	Data	Data	Idade	Apgar	Peso
			Nascimento	Provável	Gestacional	1 / 5 / 10	(grs)
27	M	P	04/05/2001	10/08/2001	27	5 7	1215
28	M	P	16/05/2001	30/06/2001	32	6 9	1315
29	M	P	30/07/2001	07/09/2001	35	9 10	1720
30	F	P	14/08/2001	22/09/2001	34	6 8	970
31	M	P	02/10/2001	04/11/2001	35	8 9	1490
32	M	P	23/11/2001	18/12/2001	36	5 8	2135
33	M	P	27/11/2001	21/01/2002	33	7 9	2000
34	F	P	04/12/2001	15/01/2002	34	2 8	1770
35	F	P	19/12/2001	19/02/2002	32	6 8	1895
36	M	P	29/01/2002	30/03/2002	32	9 10	1025
37	F	P	10/03/2002	11/05/2002	31	6 7	1410
38	F	P	18/03/2002	17/04/2002	36	7 10	1885
39	F	P	03/04/2002	26/06/2002	29	6 8	990
40	M	P	27/08/2002	17/10/2002	32	7 9	1200
41	F	P	25/09/2002	20/12/2002	28	3 8	1100
42	M	P	25/10/2002	21/12/2002	32	8 9	1855
43	M	P	20/12/2002	27/02/2003	31	7 10	1650
44	F	P	20/12/2002	27/02/2003	31	7 9	1080
45	M	P	07/01/2003	15/03/2003	29	5 9	1415
46	M	P	16/02/2003	25/04/2003	30	3 5	960
47	F	P	17/03/2003	12/04/2003	36	8 10	2490
48	F	P	29/03/2003	08/05/2003	35	7 9	2360
49	M	P	12/04/2003	20/05/2003	35	9 9	1990
50	F	P	14/01/2004	09/04/2004	29	9 9	830
51	F	P	18/01/2004	16/02/2004	35	7 8	1620
52	F	P	09/05/2004	04/06/2004	36	7 7	1340
53	F	P	28/10/2004	21/12/2004	32	1 8	1130
54	M	P	28/10/2004	21/12/2004	32	4 9	1210
55	F	P	06/02/2005	06/04/2005	32	9 9	1880
56	M	P	15/12/2005	06/01/2006	36	7 9	2430
57	M	P	17/01/2006	08/02/2006	36	6 8	1210

* P – prematuro / T – termo

III . 2 - Materiais e Métodos

III . 2 / A – Equipamento de registro e parâmetros dos estímulos

As medidas de PVCs foram obtidas através de 4 eletrodos de superfície de ouro usados para eletroencefalografia (Grass Gold Disc Electrodes – E6GH) colocados sobre o escalpo com um creme eletrolítico e cobertos com algodão (Webril II). Uma faixa elástica (3M Coban Self-Adherent Wrap 1581) foi utilizada para manter os eletrodos no local. Os eletrodos ativos foram colocados nos pontos O_1 e O_2 , situados 2 – 3 cm para a direita e para a esquerda do eletrodo comum de referência (O_z) o qual por sua vez foi fixado 1 cm acima do ínion na linha média. Um eletrodo terra foi colocado 2-3 cm acima do O_z seguindo os padrões sugeridos pela ISCEV (*International Society for Clinical Electrophysiology of Vision*), correspondente ao Sistema Internacional 10/20 (Odom et al., 2004). A colocação dos eletrodos e o procedimento de teste podem ser observados nas figuras 21 A e B, e 22.

O eletroencefalograma era amplificado por um amplificador Neurodata Grass (12C-4-23 - ganho = 10,000; atenuação de -3db em 1 e 100 Hz).

Fig. 21, A e B - Eletrodos de registro da atividade cortical colocados na área visual primária para medir respostas elétricas a estímulos visuais (Potencial Visual Evocado) (Ventura, D. F., 2007).

<http://www.ip.usp.br/laboratorios/visual/>

Fig. 22 - A mãe posiciona a criança procurando motivá-la para olhar para o monitor onde são apresentados os estímulos (Ventura, D. F., 2007).

<http://www.ip.usp.br/laboratorios/visual/>

O equipamento de registros é ainda constituído por uma placa digitalizadora para análise dos sinais adquiridos (ver descrição em IV.2/C – Procedimento Experimental) e um microcomputador Power Macintosh modelo 7100/66. Faz parte do mesmo sistema uma interface gráfica para

produção dos estímulos. Este conjunto constitui a versão NuDiva (Digital Infant Visual Assessment) do sistema de PVCP de Varredura desenvolvido por Norcia & Tyler (1985).

III . 2 / B – Estímulos para Acuidade Visual e Sensibilidade ao Contraste

Os estímulos eram compostos de grades de ondas verticais quadradas para a avaliação da AV e grades senoidais de ondas verticais para a avaliação da SC, apresentadas em um monitor de vídeo de alta resolução (Dotronix Model EM2400-D788), com a luminância média de 159.5 cd/m^2 compreendendo um ângulo visual de 33.6×25 graus a 50 cm de distância no teste para crianças e $16,8 \times 12,5$ graus de ângulo visual a 100 cm de distância para adultos.

Para a avaliação da AV, uma varredura de frequências espaciais constituída por uma seqüência de dez frequências espaciais, era apresentada na razão de um quadro por segundo, com dez padrões de reversão em cada frequência espacial. A frequência temporal das reversões era de 6 Hz. O contraste era mantido fixo com o valor de 80%. A faixa de varredura era selecionada com valores que abrangiam e ultrapassavam a faixa de valores de frequência espacial que contivesse o limiar de AV previsto para a idade do sujeito em teste com base em normas preliminares do laboratório (Haro, 2003), podendo seus valores inicial e final ser fixados no intervalo de 0.2 a 40 cpg. Para a avaliação da SC uma varredura de contrastes, constituída por uma seqüência de dez níveis de contraste, era apresentada na razão de um quadro por segundo, com dez padrões de reversão em cada contraste. A

freqüência temporal das reversões também era de 6 Hz. Foram avaliadas as freqüências espaciais 0.2, 0.8 , 2.0 , 4.0 cpg. A faixa de varredura utilizada em cada freqüência espacial foi selecionada, assim como na medida de AV, com valores que abrangiam e ultrapassavam a faixa de valores de contraste que o sujeito em teste pudesse ver, podendo seus valores inicial e final ser fixados no intervalo de 100% a 0,7% de contraste.

III . 2 / C - Procedimento Experimental

Em cada sessão foram avaliadas a AV e a SC dos sujeitos. Com a criança alerta e observando atentamente o monitor de vídeo, o experimentador ativava a varredura, de freqüência espacial ou de contraste, dependendo do teste. Os testes foram realizados binocularmente em uma sala escura. A apresentação de cada estímulo por 1 segundo precedia o início de cada varredura daquele estímulo.

Em cada apresentação de estímulo pequenos brinquedos eram mostrados em frente ao monitor de vídeo e movimentados pelo experimentador para chamar a atenção da criança e manter sua fixação próxima ao centro da tela.

III . 2 / D - Análise dos dados

O eletroencefalograma era captado simultaneamente dos dois canais e filtrado em tempo real (taxa de amostragem = 397 Hz) para isolar o PVCP. O sinal do eletroencefalograma era digitalizado e analisado através de uma transformada discreta de Fourier. Eram assim obtidas a amplitude e a fase

dos componentes de Fourier correspondentes à frequência de estimulação visual (6Hz), e seus harmônicos. A análise era feita em uma janela de 1 Hz de banda centralizada na frequência fundamental ($F_1 = 6\text{Hz}$) e em cada harmônico (F_2 , F_3 , etc). Para padrões reversos de estimulação calcula-se o limiar com base em F_2 (12 Hz) uma vez que a ativação simétrica dos sistemas neurais ON e OFF pelo padrão produz respostas simétricas, provocando um forte sinal nesta frequência (Norcia & Tyler, 1985; Hamer et al., 1989). Por outro lado, estimulação liga-desliga produz uma resposta não simétrica, maior ao ligar que ao desligar, razão pela qual nesse caso F_1 reflete melhor a resposta cortical.

O Sistema NuDiva apresenta a amplitude e a fase em um gráfico em tempo real, em função das frequências espaciais testadas, nas medidas de AV, e em função dos níveis de contraste testados, nas medidas de SC.

A mesma análise era aplicada a duas frequências temporais próximas às frequências de estimulação (fundamental) e seus harmônicos, mas diferentes destas. O objetivo desta segunda análise era obter a amplitude sinal do eletroencefalograma independente da resposta ao estímulo visual. Esta amplitude constitui o que se considera “ruído” enquanto a que é medida na frequência de estimulação e seus harmônicos, constitui o “sinal”. Um valor de pelo menos 3 na relação sinal/ruído era considerado requisito fundamental para a aceitação de dados registrados.

Limiares de AV ou de SC foram estimados usando um algoritmo automatizado. No caso da AV, este algoritmo traçava um ajuste linear dos dados de amplitude do segundo harmônico em função da frequência

espacial, e no caso da SC, em função do contraste. Os limiares de AV e de SC foram obtidos pela extrapolação para amplitude zero da sua função de ajuste linear. Exemplos das análises de ambos os testes podem ser observados nas figuras 23 A e B.

Fig. 22 – A. Exemplo de resultado obtido na medida da AV. Parte superior do gráfico. Ordenada: Amplitudes do segundo harmônico do PVCP de Varredura para cada uma das 10 frequências espaciais representadas na abscissa, interpoladas por uma reta. Em cada frequência espacial N indica a amplitude do EEG, cuja amplitude média ao longo da varredura é representada pela linha pontilhada. Parte inferior do gráfico. Ordenada: fase da resposta relativa ao padrão temporal de estimulação — 0 a 180 graus, abscissa, frequências espaciais.

B. Exemplo de resultado obtido na medida de SC espacial de luminância na frequência espacial 2.0 cpg. Parte superior do gráfico. Ordenada: Amplitudes do segundo harmônico do PVCP de Varredura para cada um de 10 níveis de contraste representados na abscissa. Parte inferior do gráfico. Ordenada: fase da resposta relativa ao padrão temporal de estimulação, de 0 a 180 graus. Abscissa: níveis de contraste.

Os dois resultados foram obtidos no bebê número 3 nascido a termo (tabela 3). aos 3 meses de idade.

Para que uma varredura de contraste fosse considerada válida pelo experimentador, exigia-se uma razão sinal-ruído (valor de Pk SNR nas

figuras 23 A e B) de 2:1 no pico da amplitude para varreduras individuais e de 3:1 para médias.

Conforme foi descrito anteriormente, havia dois canais de registro, um em cada hemisfério, sendo obtido um limiar em cada um destes canais. Três a doze repetições de PVCPs de Varredura (medidas) foram realizadas para que os três melhores resultados de AV e de SC com boa razão sinal-ruído e com fase constante fossem selecionados para a média. A estimativa final da AV foi expressa em ciclos por grau (cpg) de ângulo visual, e da SC em porcentagem (%).

Todos os exames foram realizados e analisados pelo mesmo observador.

IV – Resultados

A acuidade visual (AV) estimada pelo limiar de resolução de grades quadradas com 80% de contraste, expresso em ciclos por grau, foi avaliada em bebês prematuros (n=31) e nascidos a termo (n=26), e em adultos (n=9), (Figura 24). Os dados de prematuros são apresentados em função da idade corrigida (meses).

Fig. 24 – Acuidade visual de todos os bebês nascidos prematuros (PT) e a termo (T) avaliados durante o primeiro ano de vida, além dos adultos.

A AV no início da vida é muito baixa, da ordem de 20/170 no primeiro mês e em prematuros, é ainda mais baixa, na idade corrigida -1 mês (aproximadamente 20/280). Com o decorrer do desenvolvimento a AV apresentou grande aumento (em ciclos por grau de ângulo visual) no primeiro semestre, seguindo um desenvolvimento mais lento, nos meses subseqüentes, ainda sem alcançar a AV dos adultos ao fim do primeiro ano

de vida. Estes resultados incluem todas as crianças avaliadas, mas dado o número reduzido de sujeitos em algumas idades, o estudo concentrou-se em um número menor de idades nas quais foi possível obter maior número de voluntários.

Desta forma, os resultados de AV de crianças avaliadas aos 4, 6 e 12 meses de idade corrigida foram selecionados para a comparação entre os grupos de bebês nascidos prematuros e a termo (figura 25).

Fig. 25 – Média e desvio padrão das acuidades visuais dos bebês nascidos prematuros (PT) e a termo (T) avaliados aos 4, 6 e 12 meses de idade corrigida, além dos adultos.

Bebês prematuros e nascidos a termo apresentaram resultados semelhantes de AV (cpg) em todas as idades avaliadas, sem diferença estatística significativa em nenhuma das idades (tabela 5).

Tabela 5 - Valores de média, desvio padrão (DP) e p* da comparação da AV entre prematuros e termos

Idade e sujeitos	Média	DP
4 meses PT	7,01	1,54
4 meses T	6,47	1,21
Valor de p - 4 meses	0,462	
6 meses PT	9,76	2,95
6 meses PT	9,12	3,1
Valor de p - 6 meses	0,414	
12 meses PT	13,72	3,21
12 meses PT	16,26	3,47
Valor de p - 12 meses	0,212	

*teste estatístico Mann-Whitney rank sum T-test

Nenhum bebê avaliado alcançou o valor de média da AV dos adultos durante o primeiro ano de vida.

O contraste limiar (%) foi determinado nos mesmos bebês e em 14 adultos, nas frequências espaciais 0,2, 0,8, 2,0 e 4,0 cpg (figuras 26, 27, 28 e 29, respectivamente) e é apresentado em função da idade.

Fig. 26, 27, 28 e 29 – Limiares de Contraste nas frequências espaciais 0,2, 0,8, 2,0, e 4,0 cpg, respectivamente, de todos os bebês nascidos prematuros (PT) e a termo (T) avaliados durante o primeiro ano de vida, além dos adultos.

Os dados mostram diferentes cursos de desenvolvimento do limiar de contraste para as diferentes frequências espaciais. Os valores adultos não são atingidos em nenhuma das frequências espaciais, mesmo nos bebês com idade mais avançada (grupo avaliado aos 12 meses de idade corrigida). A frequência espacial 0,2 cpg, a menor avaliada, apresentou a menor taxa de desenvolvimento dentre todas as frequências. A frequência espacial 4,0 cpg, a mais alta avaliada, apresentou uma curva de desenvolvimento em função exponencial. Nas frequências 0,8 e 2,0 cpg, as duas intermediárias, houve um desenvolvimento mais acelerado nos primeiros 3 ou 4 meses e mais lento após essa fase.

A figura 30 reuniu todos os dados contidos nas figuras 26, 27, 28 e 29, com os valores de média de prematuros e termos juntos em todas as

idades avaliadas, porém sem incluir as barras de desvio padrão. A média dos limiares de SC dos adultos completou a figura.

Fig. 30 – Média dos limiares de Contraste das frequências espaciais 0,2, 0,8, 2,0, e 4,0, dos bebês nascidos prematuros (PT) e a termo (T) avaliados durante o primeiro ano de vida, além dos adultos.

Os dados confirmam os diferentes cursos de desenvolvimento de cada frequência espacial avaliada.

Os limiares de contraste dos prematuros e termos avaliados aos 4, 6 e 12 meses de idade corrigida (valores de média de cada idade) foram transformados em valores de sensibilidade, e a função de SC é apresentada em função da frequência espacial, com os valores de AV inseridos para completar as curvas de SC, correspondendo ao ponto de 80% de contraste (figuras 31, 32 e 33, respectivamente).

SENSIBILIDADE AO CONTRASTE DE LUMINÂNCIA AOS 4 MESES DE IDADE

SENSIBILIDADE AO CONTRASTE DE LUMINÂNCIA AOS 6 MESES DE IDADE

Fig. 31, 32 e 33 – Média da sensibilidade ao contraste e acuidade visual de prematuros (PT) e termos (T) aos 4, 6 e 12 meses de idade, respectivamente.

Ao longo do desenvolvimento o pico de SC foi se transferindo para frequências espaciais mais altas. Aos 4 e 6 meses o pico ocorreu entre as

freqüências espaciais 0,8 e 2,0 cpg. Posteriormente transferiu-se para 4,0 aos 12 meses, quando a FSC alcançou a mesma forma desta função nos adultos, mas com SC bem mais baixa.

Os limiares de SC dos bebês prematuros, assim como na AV, não se mostraram estatisticamente diferentes dos limiares dos bebês nascidos a termo (tabela 4).

Tabela 6 – Valores de média, desvio padrão (DP) e p* da comparação da SC entre prematuros e termos

Frequência espacial Idade e sujeitos	0,2 cpg		0,8 cpg		2,0 cpg		4,0 cpg	
	Média	DP	Média	DP				
4 meses PT	53,21	6,73	21,75	7,53	17,44	9,10	43,09	8,63
4 meses T	55,73	4,05	23,78	5,87	22,91	10,04	43,06	11,20
Valor de p - 4 meses	0,288		0,683		0,369		0,834	
6 meses PT	50,16	6,06	24,69	4,87	20,48	5,77	25,76	8,39
6 meses PT	49,87	5,54	26,89	6,74	17,93	2,65	25,12	10,37
Valor de p – 6 meses	0,870		0,424		0,327		0,929	
12 meses PT	53,34	7,02	32,34	8,07	19,49	5,19	11,93	5,24
12 meses PT	45,94	8,16	33,88	5,57	16,66	6,43	11,15	2,28
Valor de p - 12 meses	0,068		0,757		0,200		0,753	

*teste estatístico Mann-Whitney rank sum T-test

Os dados das figuras 31, 32 e 33 foram unidos na figura 34, incluindo os dados dos adultos, para facilitar comparações entre as idades.

SENSIBILIDADE AO CONTRASTE DE LUMINÂNCIA AOS 4, 6 E 12 MESES DE IDADE E ADULTOS

Fig. 34 – Média da sensibilidade ao contraste e acuidade visual de prematuros (PT) e termos (T) aos 4, 6 e 12 meses de idade e dos adultos.

Diferentemente dos resultados de AV, o valor de média de SC dos adultos foi alcançado por bebês avaliados em diferentes idades nas frequências espaciais 0,8 , 2,0 , e 4,0 cpg.

Um bebê nascido a termo e 2 nascidos prematuros, todos avaliados aos 4 meses, além de outro prematuro avaliado aos 9 meses, alcançaram o valor de média dos adultos (16,99%) na frequência espacial 0,8 cpg, porém os resultados de testes subsequentes (com idades mais avançadas) dos mesmos bebês apresentaram resultados inferiores aos dos adultos, evidenciando a grande modulação de sensibilidade ocorrida nesta frequência espacial, que se apresenta como a frequência de pico de sensibilidade por volta dos 4 meses de vida.

Um bebê prematuro avaliado aos 4 meses que apresentou resultados compatíveis com a média dos adultos (16,99%) na frequência espacial 0,8 cpg, também alcançou valores adultos (5,67%) na frequência 2,0 cpg.

A frequência espacial 4,0 cpg também obteve apenas 1 bebê nascidos prematuro que alcançou a média dos adultos (4,66%) quando avaliado aos 12 meses de idade corrigida.

Apesar destes casos individuais, os limiares cobriram uma ampla faixa de valores, na qual estes exemplos se situam nos valores mais altos. Assim, os valores da média de SC tanto de prematuros quanto de termos para cada idade não alcançaram os valores adultos em nenhuma frequência espacial avaliada.

Limiares de AV e de SC da frequência espacial 4.0 cpg dos prematuros dos grupos de 4, 6 e 12 meses de idade corrigida foram analisados em função dos respectivos valores de Apgar do quinto minuto de vida (anexo X), peso ao nascimento (anexo XI) e idade gestacional (anexo XII). Não houve correlação entre o limiar de contraste e os parâmetros

índice Apgar, peso ao nascimento e idade gestacional dos bebês prematuros avaliados aos 4, 6 e 12 meses de idade corrigida. Apenas a correlação entre os limiares de contraste dos bebês avaliados aos 12 meses de idade corrigida e seus valores de idade gestacional apresentou alto índice (0,7319), porém esta correlação pode ser atribuída ao fato de mais da metade deste grupo de bebês possuir o mesmo valor de idade gestacional (32 semanas).

V – Conclusões e Discussão

O grande desenvolvimento da função de AV durante o primeiro semestre de vida corrobora achados relatados em trabalhos anteriores (Dobson & Teller, 1978; Maurer et al., 1999; Norcia & Tyler, 1985; Salomão & Ventura, 1995; Schwartz, 2004; Sokol, 1978).

Assim como a AV, a SC também apresenta grandes mudanças durante a fase de desenvolvimento, modificando tanto os limiares de contraste de cada frequência espacial quanto a forma da curva de SC, com transferência do pico de sensibilidade para as frequências mais altas, e com diferentes cursos de desenvolvimento para cada frequência espacial, confirmando achados anteriores de Adams et al. (1992), Adams & Courage (1993), Atkinson, Braddick, & Moar (1977), Boothe et al. (1988) e Norcia, Tyler & Hamer (1990).

Uma discrepância pode ser observada na comparação deste trabalho com o de Norcia, Tyler & Hamer (1990), no qual bebês de 10 meses de idade alcançam os limiares dos adultos nas frequências espaciais mais baixas.

Na figura 34, que apresenta dados de AV e SC aos 4, 6 e 12 meses de idade, além dos adultos, o braço esquerdo da curva apresenta dados sobrepostos, formando uma única função, até 12 meses, enquanto após o pico, do lado direito do gráfico, as funções se espalham em leque e são aproximadamente paralelas tal como descrito por Norcia, Tyler & Hamer (1990). Estes autores descreveram a existência de dois processos no

desenvolvimento da AV e da SC. Entre 4 e 9 semanas todas as frequências espaciais da SC aumentavam. Após a nona semana a SC em frequências espaciais baixas permanecia constante enquanto a sensibilidade aumentava sistematicamente nas frequências espaciais altas. Nossos dados parecem indicar os mesmos processos de desenvolvimento descritos por Norcia, Tyler & Hamer (1990). Nos presentes dados esse paralelismo pode ser observado na frequência espacial 4,0 cpg, na qual a SC passou de aproximadamente 2,5% aos 4 meses, para 5,0% aos 6 meses, e para 10% aos 12 meses. Portanto, a SC dobra de valor de 4 para 6 meses, e novamente dobra de 6 para 12 meses, mostrando a grande aceleração do processo de desenvolvimento até o sexto mês de vida. O valor adulto é de aproximadamente 40%, ou seja, 4 vezes o valor de SC aos 12 meses (figura 35).

Fig. 35 – Desenvolvimento da sensibilidade ao contraste para a frequência espacial de 4,0 cpg, mostrando que o aumento da sensibilidade é proporcional ao logaritmo da idade.

Nossos dados mostram que há uma diferença significativa entre os limiares de AV e de SC em todas as frequências espaciais medidos em adultos e em bebês avaliados durante o primeiro ano de vida. Nossos resultados seguem os achados de Teller (1990), em que resultados adultos são alcançados após o terceiro ano de vida completo, de Boothe et al. (1988), que mostraram a visão espacial alcançando os níveis de um adulto entre o terceiro e o quinto ano de vida, de Montés-Micó & Ferrer-Blasco (2001), quando crianças apresentavam desenvolvimento lento da FSC entre o terceiro e o sétimo ano de vida, de Jackson et al. (2003) que mostrou discreto aumento da FSC em função da idade em crianças avaliadas entre 7 e 13 anos de vida, e de Adams & Courage (2002), que mostraram maturação completa da FSC por volta do nono ano de vida.

Medidas do desenvolvimento visual de bebês nascidos a termo e prematuros são uma ferramenta interessante para analisar a função da experiência visual. Comparando esses dois grupos, são analisados bebês da mesma idade, mas com diferentes períodos de experiência visual, e isto poderia ajudar a elucidar aspectos do desenvolvimento visual que ainda continuam desconhecidos.

No presente trabalho a experiência visual, estudada da forma sugerida acima, não afetou os resultados, pois não foram encontradas diferenças estatísticas entre as AVs e as SCs de bebês nascidos a termo e prematuros, avaliados através do método eletrofisiológico de PVCP de Varredura. Este resultado confirma nossos trabalhos preliminares (Oliveira et al., 2004) e também confirma os resultados de estudos prévios sobre diferenças na AV

de crianças nascidas a termo e prematuras, avaliadas com o PVCP de padrão reverso (Rudduck & Harding, 1994; Kos-Pietro et al., 1997), PVCP de Varredura (Mazzitelli, 2002; Haro, 2003), e na SC avaliada psicofisicamente por Jackson et al. (2003). Outro estudo demonstrou resultados semelhantes entre prematuros e termos quando avaliados com o PVCP de Varredura, e resultados superiores dos prematuros quando avaliados com a técnica de Olhar Preferencial de escolha forçada (Baraldi et al., 1981). Mirabella et al. (2006), que também utilizaram o PVCP de Varredura, encontraram resultados semelhantes de AV, FSC e acuidade de vernier para prematuros e termos, com prematuros apresentando melhores amplitudes nas medidas de sensibilidade ao contraste e de acuidade de vernier.

Por outro lado, alguns relatos foram discordantes, com resultados inferiores para prematuros. Um estudo semelhante ao de Jackson et al. (2003) que avaliou prematuros durante a fase de adolescência com métodos psicofísicos, observou resultados inferiores para os prematuros na AV e SC (Lindqvist et al., 2007). Hammarrenger et al. (2007) encontrou diferenças nos resultados de PVCP de padrão reverso para um dos grupos de idade avaliados, com resultados inferiores dos prematuros para estímulos associados à vias magnocelular.

A existência de complicações perinatais torna mais complexa a análise. Apesar disso, Van Hof-van J. & Mohn G. (1986) haviam demonstrado o desenvolvimento similar da AV em termos e prematuros mesmo com complicações perinatais mínimas. Por outro lado, prematuros

com complicações mais graves avaliados por Jongmans et al. (1996), tiveram alterações na AV e na estereopsia, mas seus achados podem ser atribuídos a fatores como erro refrativo, estrabismo, ambliopia, e lesão da região pós-quiasmática da via visual. Outros estudos confirmam achados de perdas visuais em pacientes nascidos prematuros com alguma complicação perinatal (Mash & Dobson, 1988), com baixa atenção visual e lesão retroquiasmática (Salomão et al., 2001), com alteração de desenvolvimento neuropsicomotor (Haro, 2003) ou na AV de prematuros com exame neurológico anormal (Morante et al. 1982). Foram ainda relatados em um estudo, melhores resultados em prematuros sem alterações relativo aos nascidos a termo, mas restritos aos primeiros meses do desenvolvimento visual, e que posteriormente se igualaram entre os grupos de crianças (Haro, 2003).

Como foram avaliadas diferenças na AV e na SC nos níveis primários do córtex visual, estes resultados sugerem que o processamento visual primário dos bebês nascidos a termo e prematuros é bastante similar.

Os dados presentes sugerem que o desenvolvimento destas duas funções é muito similar para ambos os bebês nascidos a termo e prematuros.

Os dados ainda sugerem não haver correlações entre as funções de AV e SC e os valores de índice de Apgar, peso ao nascimento, e idade gestacional dos bebês prematuros.

Sabe-se que o sistema visual é dependente de experiência, como foi comprovado por Maurer et al. (1999). Os dados presentes de AV e SC, em associação com outros estudos de resolução espacial (Baraldi et al., 1981)

realizados em bebês nascidos a termo e prematuros, sugerem que a experiência visual não afeta a capacidade do sistema visual de resolver um estímulo espacial. Essa experiência provavelmente afeta as sinapses das áreas corticais visuais que processam a informação visual em níveis mais altos no córtex associativo visual. Concluindo, parece que a prematuridade não concede ao bebê uma visão melhor, mas melhora o processamento e a utilização daquilo que ele está enxergando.²

---

² Dados de alguns destes sujeitos aos 3 e aos 10 meses de idade nas frequências espaciais 0,2 e 4,0 cpg foram apresentados sob a forma de painel no Congresso da FeSBE (Federação de Sociedades de Biologia Experimental) em 2003 em Curitiba – PR, e o trabalho foi selecionado para apresentação oral sendo premiado como Finalista do Concurso Jovem Pesquisador – Prêmio Michel Jamra 2003, pela Sociedade Brasileira de Investigação Clínica – SBIC (anexo III). Como premiação o trabalho recebeu um convite para publicação no periódico *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, sendo enviado em 2003 e aceito em 2004 (anexo IV).

Resultados preliminares do trabalho atual foram apresentados sob a forma de painel em 2005 no Congresso Internacional da ARVO (*The Association for Research in Vision and Ophthalmology*), realizado em Fort Lauderdale – FL – USA. (anexo V), no Congresso da FeSBE (Federação de Sociedades de Biologia Experimental) também em 2005 em Águas de Lindóia – SP, onde foi premiado com um Certificado de Honra ao Mérito pela comissão organizadora do congresso (anexo VI). Em 2006 foi apresentado sob a forma de painel no Congresso Mundial de Oftalmologia em São Paulo – SP, (anexo VII) e em 2007 novamente apresentado sob a forma de painel no Congresso Internacional da ARVO (*The Association for Research in Vision and Ophthalmology*), realizado em Fort Lauderdale – FL – USA (anexo VIII).

Além das publicações supracitadas, parte da introdução deste trabalho foi selecionada para compor um capítulo de livro a ser lançado no primeiro semestre de 2007 (anexo IX).

VI - Referências Bibliográficas

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Allen, D., Banks, M. S., & Norcia, A. M. (1993). Does Chromatic Sensitivity Develop More Slowly Than Luminance Sensitivity. *Vision Research*, 33, 2553-2562.
5. Allen, D., Tyler, C. W., & Norcia, A. M. (1996). Development of grating acuity and contrast sensitivity in the central and peripheral visual field of the human infant. *Vision Research*, 36, 1945-1953.
6. Arippol, P. K. K., Salomão, S. R., & Belfort Jr., R. (2006). Método computadorizado para medida da acuidade visual. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 69 (6), 907-914.

7. Atkinson, J., Braddick, O., & Braddick, F. (1974). Acuity and Contrast Sensitivity of Infant Vision. *Nature*, 247, 403-404.
8. Atkinson, J., Braddick, O., & Moar, K. (1977). Development of Contrast Sensitivity Over 1st 3 Months of Life in Human Infant. *Vision Research*, 17, 1037-1044.
9. Atkinson, J. & Braddick, O. (1989). Development of Basic Visual Functions. In Slater, A. & Bremner, G. (Eds.). Infant Development. Lawrence Erlbaum Associates.
10. Banks, M. S. & Salapatek, P. (1976). Contrast Sensitivity Function of the Infant Visual-System. *Vision Research*, 16, 867-869.
11. Baraldi, P., Ferrari, F., Fonda, S., & Penne, A. (1981). Vision in the Neonate (Full-Term and Premature) - Preliminary Result of the Application of Some Testing Methods. *Documenta Ophthalmologica*, 51, 101-112.
12. Beck, R. W., Moke, P. S., Turpin, A. H., Ferris III, F. L., SanGiovanni, J. P., Johnson, C. A., Birch, E. E., Chandler, D. L., Cox, T. A., Blair, R. C., & Kraker, R. T. (2003). A computerized method of visual acuity testing: Adaptation of the early treatment of diabetic retinopathy study testing protocol. *American Journal of Ophthalmology*, 135, 194-205.
13. Berezovsky, A., Salomão, S. R., Haro-Munoz, E., Ventura, D. F., Maffei, C. M. A., Hortelan, L. R., Souza, E. C., & Bonomo, P. P. O. (1995).

Campos Visuais Monoculares Medidos Em Oito Meridianos Pela Perimetria Cinetica de Arco Duplo No Primeiro Ano de Vida. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 58, 77-84.

14. Berezovsky, A., Moraes, N. S. B., Nusinowitz, S., & Salomao, S. R. (2003). Standard full-field electroretinography in healthy preterm infants. *Documenta Ophthalmologica*, 107, 243-249.

15. Bicas, H.E.A. (2002). Visual Acuity. Measurements and notations. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 65 (3), 375-384

16. Birch, E. E. & Bane, M. C. (1991). Forced-Choice Preferential Looking Acuity of Children with Cortical Visual Impairment. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 33, 722-729.

17. Birch, E. E. & O'Connor, A. R. (2001). Preterm birth and visual. *Development. Seminars in Neonatology*, 6 (6), 487-497.

18. Bonotto, L. B., Moreira, A. T. R., & Carvalho, D. S. (2007). Prevalência de retinopatia da prematuridade em prematuros atendidos no período de 1992-1999 em Joinville (SC): avaliação de riscos associados - "screening". *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 70, 55-61.

19. Boothe, R. G., Kiorpes, L., Williams, R. A., & Teller, D. Y. (1988). Operant Measurements of Contrast Sensitivity in Infant Macaque Monkeys During Normal Development. *Vision Research*, 28, 387-396.

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

21. Campbell, F. W. & Robson, J. G. (1968). Application of Fourier Analysis to Visibility of Gratings. *Journal of Physiology-London*, 197, 551-566.
22. Campbell, F. W. (1974). Contrast and Spatial Frequency. *Scientific American*, 231, 106-114.
23. Cinoto, R. W., Berezovsky, A., Belfort Jr., R., & Salomão, S. R. (2006). Comparação entre qualidade de visão auto-relatada e acuidade visual em população idosa de baixa renda na cidade de São Paulo. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 69 (1), 17-22.
24. Cornsweet, T. N. (1970). Visual Perception. Academic Press.
25. Courage, M. L. & Adams, R. J. (1990). Visual-Acuity Assessment from Birth to 3 Years Using the Acuity Card Procedure - Cross-Sectional and Longitudinal Samples. *Optometry and Vision Science*, 67, 713-718.
26. da Costa, M. F., Salomão, S. R., Berezovsky, A., de Haro, F. M., & Ventura, D. F. (2004). Relationship between vision and motor impairment in children with spastic cerebral palsy: new evidence from electrophysiology. *Behavioural Brain Research*, 149, 145-150.
27. Dambro, M. R. (2002). Griffith's 5-Minute Clinical Consult. Lippincott Ed.

28. de Faria, J. M. L., Katsumi, O., Arai, M., & Hirose, T. (1998). Objective measurement of contrast sensitivity function using contrast sweep visual evoked responses. *British Journal of Ophthalmology*, 82, 168-173.
29. Diamond, M. C. (2001). Response of the brain to enrichment. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 73, 211-220.
30. Dobkins, K. R. & Teller, D. Y. (1995). Infant contrast detectors are selective for direction of motion. *Vision Research*, 36, 281-294.
31. Dobkins, K. R., Lia, B., & Teller, D. Y. (1997). Infant color vision: Temporal contrast sensitivity functions for chromatically-defined stimuli in 3-month-olds. *Vision Research*, 37, 1-18.
32. Dobson, V. & Teller, D. Y. (1978). Visual acuity in human infants: a review and comparison of behavioral and electrophysiological studies. *Vision Research*, 18, 1469-1483.
33. Egyetem, P. O. & Klinika, S. N. (1999). Neonatal care of premature infants. *Orv Hetil*, 140, 1611-1618.
34. Elliott, D. B. & Situ, P. (1998). Visual acuity versus letter contrast sensitivity in early cataract. *Vision Research*, 38, 2047-2052.
35. Hamer, R. D., Norcia, A. M., Tyler, C. W., & Hsuwingses, C. (1989). The Development of Monocular and Binocular Vep Acuity. *Vision Research*, 29, 397-408.

36. Hammerrenger, B., Roy, M. S., Ellenberg, D., Lambrosse, M., Orquin, J., Lippe, S., & Lepore, F. (2007). Developmental delay and magnocellular visual pathway function in very-low-birthweight preterm infants. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49, 28-33.
37. Harding, G. F. A., Odom, J. V., Spileers, W., & Spekreijse, H. (1996). Standard for visual evoked potentials 1995. *Vision Research*, 36, 3567-3572.
38. Haro, F. M. B. (2003). Desenvolvimento da acuidade visual de resolução de grades em prematuros durante o primeiro ano de vida: estudo eletrofisiológico pelo registro dos potenciais visuais evocados de varredura. *Tese de Doutorado*. Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo.
39. Hart, W. M. (1992). Adler's physiology of the eye: clinical application. 9th ed. Mosby.
40. Harvey, E. M., Dobson, V., Luna, B., & Scher, M. S. (1997). Grating acuity and visual-field development in children with intraventricular hemorrhage. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 39, 305-312.
41. Harwerth, R. S., Smith, E. L., Duncan, G. C., Crawford, M. L. J., & Vonnoorden, G. K. (1986). Multiple Sensitive Periods in the Development of the Primate Visual-System. *Science*, 232, 235-238.

42. Jackson, T. L., Ong, G. L., McIndoe, M. A., & Ripley, L. G. (2003). Monocular chromatic contrast threshold and achromatic contrast sensitivity in children born prematurely. *American Journal of Ophthalmology*, 136, 710-719.

43. Jasper, H. H. (1958). Report of the committee on methods of clinical examination in electroencephalography. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 370-5.

44. Jongmans, M., Mercuri, E., Henderson, S., de Vries, L., Sonksen, P., & Dubowitz, L. (1996). Visual function of prematurely born children with and without perceptual-motor difficulties. *Early Human Development*, 45, 73-82.

45. Kelly, J. P., Borchert, K., & Teller, D. Y. (1997). The development of chromatic and achromatic contrast sensitivity in infancy as tested with the sweep VEP. *Vision Research*, 37, 2057-2072.

46. Kelly, J. P. & Chang, S. (2000). Development of chromatic and luminance detection contours using the sweep VEP. *Vision Research*, 40, 1887-1905.

47. Kolb, H., Fernandez, E., Nelson, R., & Jones, B. W. Recuperado em 10 de Janeiro de 2007. Webvision - The Organization of the Retina and Visual System. University of Utah.

<http://webvision.med.utah.edu/>

48. Kos-Pietro, S., Towle, V. L., Cakmur, R., & Spire, J. P. (1997). Maturation of human visual evoked potentials: 27 weeks conceptional age to 2 years. *Neuropediatrics*, 28, 318-323.

49. Lindqvist, S., Vik, T., Indredavik, M. S., & Brubakk, A. M. (2007). Visual acuity, contrast sensitivity, peripheral vision and refraction in low birthweight teenagers. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 85, 157-164.

50. Liu, C. Recuperado em 10 de Janeiro de 2007. British Society for Refractive Surgery. Refractive surgery report: Visual performance.

http://www.bsrs2000.fsnet.co.uk/new_page_13.htm

51. Lutty, G. A., Chan-Ling, T., Phelps, D. L., Adamis, A. P., Berns, K. Y., Chan, C. K., Cole, C. H., D'Amore, P. A., Das, A., Deng, W. T., Dobson, V., Flynn, J. T., Friedlander, M., Fulton, A., Good, W. V., Grant, M. A., Hansen, R., Hauswirth, W. W., & Robert, J. (2006). Proceedings of the Third International Symposium on Retinopathy of Prematurity: An uptade on ROP from the lab to the nurse (November 2003, Anaheim, California). *Molecular Vision*, 12, 532-580.

52. Mash, C. & Dobson, V. (1998). Long-term reliability and predictive validity of the teller acuity card procedure. *Vision Research*, 38, 619-626.

53. Maurer, D., Lewis, T. L., Brent, H. P., & Levin, A. V. (1999). Rapid improvement in the acuity of infants after visual input. *Science*, 286, 108-110.
54. Mayer, D. L. & Dobson, V. (1982). Visual acuity development in infants and young children as assessed by operant preferential looking. *Vision Research*, 22, 1141-1151.
55. Mayer, D. L., Beiser, A. S., Warner, A. F., Pratt, E. M., Raye, K. N., & Lang, J. N. (1995). Monocular acuity norms for the Teller Acuity Cards between ages one month and four years. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 36, 671-685.
56. Mazzitelli, C. (2002). Desenvolvimento neuromotor de lactentes prematuros incluídos em programa de estimulação precoce. *Dissertação de Mestrado*. Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
57. McDonald, M. A., Dobson, V., Sebris, S. L., Baitch, L., Varner, D., & Teller, D. Y. (1985). The acuity card procedure: A rapid test of infant acuity. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 26, 1158-1162.
58. Mills, M. D. (1999). The Eye in Childhood. *American Family Physician*, 60, 907-918.
59. Mirabella, G., Kjaer, P. K., Norcia, A. M., Good, W. V., & Madan, A. (2006). Visual Development in Very Low Birth Weight Infants. *Pediatric Research*, 60, 1-5.

60. Montés-Micó, R. & Ferrer-Blasco, T. (2001). Contrast sensitivity function in children: normalized notation for the assessment and diagnosis of diseases. *Documenta Ophthalmologica*, 103, 175-186.

61. Morante, A., Dubowitz, L. M., Leven, M., & Dubowitz, V. (1982). The development of visual function in normal and neurologically abnormal preterm and fullterm infants. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 24, 771-784.

62. Moskowitz, A. & Sokol, S. (1980). Spatial and Temporal Interaction of Pattern-Evoked Cortical Potentials in Human Infants. *Vision Research*, 20, 699-707.

63. Moutquin, J. M. (2003). Classification and heterogeneity of preterm birth. *Bjog-An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 110, 30-33.

64. Norcia, A. M. & Manny, R. E. (2003). Development of Vision in Infancy. In: Kaufman, P. L. & Alm, A. Adler's Physiology of the eye. Clinical Application. (10 ed.). Mosby.

65. Norcia, A. M. & Tyler, C. W. (1985). Spatial frequency sweep VEP: visual acuity during the first year of life. *Vision Research*, 25, 1399-1408.

66. Norcia, A. M., Tyler, C. W., Hamer, R. D., & Wesemann, W. (1989). Measurement of Spatial Contrast Sensitivity with the Swept Contrast Vep. *Vision Research*, 29, 627-637.

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

68. Odom, J. V. (2003). Functional vision: assessment and outcome. *Visual Impairment Research*, 5, 113-114.

69. Odom, J. V., Bach, M., Barber, C., Brigell, M., Marmor, M. F., Tormene, A. P., Holder, G. E., & Vaegan. (2004). Visual evoked potentials standard. *Documenta Ophthalmologica*, 108, 115-123.

70. Ohzawa, I. Recuperado em 10 de Janeiro de 2007. Make Your Own Campbell-Robson Contrast Sensitivity Chart

http://cobalt056.bpe.es.osaka-u.ac.jp/ohzawa-lab/izumi/CSF/A_JG_RobsonCSFchart.html

71. 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.

72. Ornelas, S. L., Xavier, C. C., & Colosimo, E. A. (2002). Crescimento de recém-nascidos pré-termo. *Jornal de Pediatria*, 78 (3), 230-236.

73. Parmelee, A. H. (1975). Neurophysiological and Behavioral Organization of Premature-Infants in 1st Months of Life. *Biological Psychiatry*, 10, 501-512.

74. Peterzell, D. H. & Norcia, A. M. (1997). Spatial frequency masking with the sweep-VEP. *Vision Research*, 37, 2349-2359.

75. Pike, M. G., Holmstrom, G., de Vries, L. S., Pennock, J. M., Drew, K. J., Sonksen, P. M., & Dubowitz, L. M. S. (1994). Patterns of visual impairment associated with lesions of the preterm infant brain. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 36, 849-862.

76. Pirchio, M., Spinelli, D., Fiorentini, A., & Maffei, L. (1978). Infant Contrast Sensitivity Evaluated by Evoked-Potentials. *Brain Research*, 141, 179-184.

77. Porciatti, V., Ciavarella, P., Ghiggi, M. R., D'Angelo, V., Padovano, S., Grifa, M., & Moretti, G. (1999). Losses of hemifield contrast sensitivity in patients with pituitary adenoma and normal visual acuity and visual field. *Clinical Neurophysiology*, 110, 876-886.

78. Rades, E., Bittar, R. E., & Zugaib, M. (2004). Determinantes Diretos do Parto Prematuro Eletivo e os Resultados Neonatais. *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia*, 26 (8), 655-662.

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

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

81. Rodrigues, A. R., Botelho de Souza, C. R., Braga, A. M., Rodrigues, P. S. S., Silveira, A. T., Damin, E. T. B., Côrtes, M. I. T., Castro, A. J. O., Mello, G. A., Vieira, J. L. F., Pinheiro, M. C. N., Ventura, D. F., & Silveira, L. C. L. (2007). Mercury toxicity: contrast sensitivity and color discrimination of subjects exposed to mercury. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 40, 415-424.

82. Rudduck, G. A. & Harding, G. F. A. (1994). Visual Electrophysiology to Achromatic and Chromatic Stimuli in Premature and Full-Term Infants. *International Journal of Psychophysiology*, 16, 209-218.

83. 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.

84. Salomão, S. R., Berezovsky, A., De Haro, F. M. B., Goldchmit, M., & Ventura, D. F. (2001). Grating acuity deficit in preterm infants with cortical visual impairment. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 42, S845.

85. Santos, N. A. & Simas, M. L. B. (2001). Função de Sensibilidade ao Contraste. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 14, 589-597.
86. Schwartz, S. H. (2004). Visual perception: a clinical orientation. (3ed.). McGraw-Hill Companies.
87. Shannon, E., Skoczenski, A. M., & Banks, M. S. (1996). Retinal illuminance and contrast sensitivity in human infants. *Vision Research*, 36, 67-76.
88. Shapley, R., Kaplan, E., & Purpura, K. (1993). Contrast sensitivity and light adaptation in photoreceptors or in the retinal network. 5, 103-117. In Shapley, R. and Lam, D. M-K. Contrast Sensitivity Proceedings of the Retinal Research Foundation Symposia. MIT Press.
89. Slater, A. (1989). Visual Development. In Slater, A. & Bremner, G. (Eds.). Infant Development. Lawrence Erlbaum Associates.
90. Sokol, S. (1978). Measurement of Infant Visual-Acuity from Pattern Reversal Evoked-Potentials. *Vision Research*, 18, 33-39.
91. Souza, G. D., Gomes, B. D., Saito, C. A., Silveira, L. C. L., & da Silva Filho, M. (2006). Human Achromatic Spatial Contrast Sensitivity Measured With Transient Visual Evoked Cortical Potential: Comparison With Psychophysics Measurements. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 47, E-Abstract 5370.

92. Spallicci, M. D. B., Chiea, M. A., Albuquerque, P. B., Bittar, R. E., & Zugaib, M. (2000). Estudo de algumas variáveis maternas relacionadas com a prematuridade no Hospital Universitário da Universidade de São Paulo. *Revista Médica do Hospital Universitário - USP*, 10 (1), 19-23.

93. StJohn, R. (1997). Contrast detection and orientation discrimination thresholds associated with meridional amblyopia. *Vision Research*, 37, 1451-1457.

94. Teller, D. Y. (1990). The Development of Visual Function in infants. In Cohen, B. & Bodis-Wollner, L.(Eds.). *Vision and the Brain*. Raven Press.

95. Teller, D. Y. (1997). First Glances: The Vision of Infants. The Friendwald Lecture. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 38 (11), 2183-2203.

96. Teller, D. Y. (1998). Spatial and temporal aspects of infant color vision. *Vision Research*, 38, 3275-3282.

97. Van Hof-van Duin, J. & Mohn, G. (1986). The Development of Visual Acuity in Normal Fullterm and Preterm Infants. *Vision Research*, 26 (6), 909-916.

98. Ventura, D. F., Quiros, P., Carelli, V., Salomão, S. R., Gualtieri, M., Oliveira, A. G. F., Costa, M. F., Berezovsky, A., Sadun, F., & Sadun, A. A. (2005). Chromatic and luminance contrast sensitivities of carriers of

11778 Leber's Hereditary Optic Neuropathy (LHON) from a giant pedigree in Brazil. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46, 4809-4814.

99. Ventura, D. F., Simões, A. L., Tomaz, S., Costa, M. F., Lago, M., Costa, M. T. V., Pereira, L. H. M. C., Souza, J. M., Faria, M. A. M., & Silveira, L. C. L. (2005). Colour vision and contrast sensitivity losses of mercury intoxicated industry workers in Brazil. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 19, 523-529.

100. Ventura, D. F. Recuperado em 10 de Janeiro de 2007. Laboratório da Visão: Psicofísica e Eletrofisiologia Visual Clínica. Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo.
<http://www.ip.usp.br/laboratorios/visual/>

101. World Health Organization (WHO). (1970). The prevention of perinatal mortality and morbidity. 457.