

MEDIDAS PSICOFÍSICAS E ELETROFISIOLÓGICAS DA FUNÇÃO VISUAL DO RECÉM NASCIDO: UMA REVISÃO

**Marcelo Fernandes da Costa¹, André Gustavo Fernandes Oliveira²,
Niélsy Helena Puglia Bergamasco¹ e Dora Fix Ventura¹**

Universidade de São Paulo - USP

O sistema visual apresenta muitas funções ao nascimento. O processo de amadurecimento destas funções demanda um tempo variado. Neste trabalho, inicialmente descreveremos como a psicofísica e a eletrofisiologia visual tem colaborado para a medida e o estudo do desenvolvimento de três funções visuais: acuidade visual, sensibilidade ao contraste e visão de cores. Num segundo momento, discutimos sobre como a medida e o desenvolvimento destas funções podem estar prejudicados em patologias que afetam o sistema visual, como a prematuridade e a paralisia cerebral.

Descritores: Psicofísica. Eletrofisiologia. Acuidade visual. Sensibilidade de contraste (visão). Discriminação de cores.

O sistema visual humano é o sistema sensorial mais complexo e já apresenta muitas funções ao nascimento. No entanto, do ponto de vista funcional, muitas destas funções ainda estão extremamente imaturas e necessitarão de um processo de amadurecimento que pode levar alguns anos ou até mais de uma década (Gordon & McCulloch, 1999; Knoblauch, Vital-Durand, & Barbur, 2001; Neuringer & Jeffrey, 2003; Teller & Movshon, 1986).

Muitos fatores são importantes neste período inicial do desenvolvimento. A experiência visual nos primeiros estágios da vida tem um importante

1 Docentes do Departamento de Psicologia Experimental do Instituto de Psicologia - USP. Endereço eletrônico do primeiro autor: costamf@usp.br

2 Pós-Graduando em Neurociências e Comportamento do Instituto de Psicologia - USP.

papel no processo de formação e maturação dos circuitos corticais que permitirão um desenvolvimento adequado das funções visuais (Glass, 2002; Maurer & Lewis, 2001; Neuringer & Jeffrey, 2003; Sugita, 2004). Aspectos nutricionais estão diretamente relacionados ao desenvolvimento das vias neurais e têm um alto impacto no desenvolvimento das funções visuais (Gil, Ramirez, & Gil, 2003; Heird & Lapillonne, 2005; Uauy & Dangour, 2006; Uauy, Mena, & Rojas, 2000). Fatores ópticos e oculares também influenciam o desenvolvimento das funções visuais, uma vez que alterações podem prejudicar a experiência sensorial adequada (Birch, Fawcett, & Stager, 2000; Birch & Swanson, 2000; Bowering, Maurer, Lewis, & Brent, 1997; Daw, 1998; Hoyt, Nickel, & Billson, 1982; Maurer & Lewis, 2001; Thompson, Moller, Russell-Eggitt, & Kriss, 1996; Vital-Durand, 1999). Segundo Glass (2002) impacto de alterações visuais podem alterar uma série de habilidades como aprender a ler ou apreciar uma obra de arte, bem como influenciar negativamente no estabelecimento de um contato social saudável uma vez que as expressões faciais, os gestos e o contato ocular têm um importante papel na nossa comunicação e interação social.

O propósito deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de três funções visuais básicas (acuidade visual, sensibilidade ao contraste e visão de cores) avaliadas tanto com a metodologia psicofísica quanto eletrofisiológica, além de descrever as alterações destas funções frequentemente encontradas em algumas doenças neurológicas.

Desenvolvimento visual no recém nascido

Acuidade Visual

A acuidade visual se refere à capacidade do sujeito em detectar, separar ou discriminar um objeto no espaço. Estas capacidades correspondem, respectivamente, ao menor objeto detectável (acuidade de detecção), à menor distância entre dois objetos que permita detectá-los como dois (acuidade de separação ou de resolução) e ao menor objeto discriminável ou reconhecido (acuidade de discriminação ou de reconhecimento). Ao nascimento, a acuidade visual humana é muito reduzida, quando comparada a de um adulto. Um bebê, ao nascimento enxerga dez a vinte vezes menos que um adulto. Isso

significa que somente estímulos muito grandes poderão ser vistos pelo bebê. No entanto, há um rápido desenvolvimento desta função nos primeiros 6-12 meses de vida, descrito tanto por métodos psicofísicos (Atkinson & Braddick, 1983; Katz & Sireteanu, 1992; Lewis et al., 2000; Sireteanu, Kellerer, & Borgen, 1984; Shimojo, 1992; Suzuki & Awaya, 1995) quanto por métodos eletrofisiológicos (McCulloch & Skarf, 1991; Roy, Barsoumhom, Orquin, & Benoit, 1995; Salomao et al., 1999; Skoczinski & Norcia, 1999; Stark, 1980). Após este período inicial de grande desenvolvimento, a acuidade visual ainda encontra-se em valores inferiores aos de um adulto. Este período inicial de grande desenvolvimento recebeu o nome de período crítico dado por alguns autores que demonstraram que este período é essencial para a formação dos circuitos neurais necessários para a visão (Flynn, Hamasaki, Flynn, & Barri-cks, 1975; Freeman & Marg, 1975; Hubel, Wiesel, & Levay, 1977; Hubel & Wiesel, 1970). O descobrimento da existência de um período crítico foi acompanhado da demonstração de que alterações na experiência visual durante este período podem deixar seqüelas irreversíveis. Esta é uma informação extremamente relevante para a terapêutica visual.

Medidas psicofísicas da acuidade de resolução são geralmente feitas mostrando-se ao bebê um padrão listrado sobre fundo homogêneo e verificando se o olhar do bebê se dirige ao padrão. Estas medidas mostram que para esta função existem dois grandes momentos de grande desenvolvimento, um durante os 6 primeiros meses de vida e um segundo por volta dos 3 anos de idade. Neste intervalo o desenvolvimento ocorre com menor intensidade (Mayer & Dobson, 1982; Mayer et al., 1995; Salomao & Ventura, 1995; Suzuki & Awaya, 1995; Teller & Movshon, 1986). Valores próximos aos dos adultos são obtidos por crianças com 4 anos de idade (Mayer et al., 1995), no entanto ainda inferiores mostrando que até esta idade o desenvolvimento não se completou.

Resultados diferentes dos descritos para as medidas psicofísicas são encontrados em medidas eletrofisiológicas. Nestas, a acuidade visual é determinada usando-se potenciais visuais evocados corticais. Um padrão listrado evoca uma resposta cortical cada vez que aparece, e essa resposta diminui de amplitude para listras cada vez mais finas. A acuidade limiar corresponde à menor espessura de listras que provoca resposta. Norcia e Tyler (1985) encontraram valores de acuidade visual semelhantes aos de adultos em bebês de 8

meses de idade. Em um posterior trabalho, Skoczenski e Norcia (1999) mostraram que a acuidade visual alcança valores de adultos por volta do final do primeiro ano de vida. Nossa experiência em medidas de acuidade visual com o mesmo método utilizado por Norcia e Tyler, mostrou resultados diferentes: valores semelhantes aos de adultos foram encontrados em bebês por volta dos 3 anos de idade (de Haro et al., 2000). Mesmo nossos resultados apresentando um período de maturação prolongado com relação aos dados de Norcia, eles ainda são menores dos obtidos pelos método comportamentais.

Diferenças entre os métodos de medidas eletrofisiológicas e psicofísicas foram encontradas por Sokol e Moskowitz (1985), os quais mostraram que para bebês sadios de 1 a 6 meses de idade a acuidade medida pelo método eletrofisiológico é duas a quatro vezes melhor do que a medida pelo método psicofísico.

A diferença no desenvolvimento da acuidade de resolução observada entre os métodos psicofísico e eletrofisiológico pode ocorrer por pelas diferentes características do estímulo, já que o método psicofísico usa estímulos estáticos enquanto o eletrofisiológico usa estímulo dinâmico. Talvez a diferença possa ser explicada pela progressão temporal na mielinização das vias visuais, que ocorre inicialmente nas vias visuais primárias e posteriormente nas vias visual superiores de processamento da informação espacial. Como o método psicofísico usa uma resposta comportamental que depende de integridade de toda a via e o método eletrofisiológico reflete predominantemente a atividade do córtex visual primário, estas diferenças de amadurecimento podem estar na origem das discrepâncias de resultados entre os dois métodos.

Para a acuidade visual de discriminação ou de reconhecimento, o total desenvolvimento só se dará próximo ao final da primeira década de vida (Keech & Kutschke, 1995).

Visão de Contraste

Uma outra medida de função visual espacial se refere à capacidade de perceber nas características de estímulos visuais próximos. Frequentemente, estas diferenças são avaliadas para a nossa visão de brilho (Contraste de Luminância) ou para nossa visão de cores (Contraste Cromático). A sensibilidade para detectar o contraste difere com o tamanho do estímulo ou de seus detalhes.

Se o estímulo for pequeno ou tiver detalhes há necessidade de alto contraste, ou seja, a sensibilidade é baixa. Paradoxalmente, para estímulos muito grandes, a sensibilidade também é baixa. Ela atinge o máximo com estímulos de tamanho intermediário. Para medidas do contraste mínimo necessário para ver diferentes tamanhos de objeto são tipicamente usados diversos padrões listrados com barras pretas e brancas, de diferentes larguras. A função relacionando o tamanho das barras à quantidade mínima de contraste necessário para que as barras sejam visíveis recebe o nome de função de sensibilidade ao contraste.

Assim como a acuidade visual, a habilidade de discriminar contrastes de luminância está presente ao nascimento, mas é extremamente pobre em desempenho se comparada com a de um adulto. O seu desenvolvimento ocorre principalmente nos 3 primeiros anos de vida (Adams & Courage, 1996) mas só é finalizando na adolescência. Segundo Gordon & McCulloch (1999), o desenvolvimento da sensibilidade é mais acelerado, ou seja, atingindo valores iguais aos dos adultos, para estímulos grandes (baixas frequências espaciais) e médios (médias frequências espaciais) e, posteriormente, na adolescência é que a sensibilidade para estímulos de tamanhos pequenos atinge seu total desenvolvimento. Neste estudo, crianças de 7 a 11 anos de idade apresentaram valores de sensibilidade ao contraste para baixas e médias frequências espaciais semelhantes aos de adultos enquanto que as medidas de sensibilidade ainda diferiam das dos adultos para as altas frequências espaciais.

Estas diferenças refletem diferenças fisiológicas no processamento desta informação. Baixas frequências espaciais são processadas pela via visual magnocelular. As altas frequências espaciais são processadas pela via parvocelular (Benardete, Kaplan, & Knight, 1992; Bowen, 1997; Burkhalter, Bernardo, & Charles, 1993).

Visão de Cores

O tópico visão de cores será dividido considerando duas de suas funções: a capacidade de discriminar cores e o contraste cromático. A primeira diz respeito às medidas de habilidades de ver diferentes cores enquanto a segunda mede a diferença mínima de cor entre duas áreas adjacentes e está mais relacionada com as características e contribuições da cor na visão espacial.

A cor é um atributo subjetivo correspondente a três parâmetros físicos, comprimento de onda, intensidade e pureza. O comprimento de onda tem como correlato psicológico o matiz, que é relacionado à tonalidade da cor; a intensidade tem o correlato psicológico do brilho, que corresponde à intensidade luminosa, e por fim, o correlato psicológico da pureza é a saturação, que descreve o quão pura é uma cor. Quanto mais pura uma cor for, menos branco ela terá, assim, ela será menos desaturada.

Estudos recentes mostram que até a 4 semana de vida, o bebê discrimina pobremente um estímulo colorido de um estímulo branco de mesma intensidade de brilho, ou seja, até o final do primeiro mês de vida, a visão de cores praticamente inexistente, limitando-se à região laranja-avermelhada do espectro cromático (Adams & Courage, 1995; Adams, Courage, & Mercer 1991; Dobkins, Anderson, & Kelly, 2001). Nos três meses seguintes há o aparecimento gradual da visão de cores. Os estudos de Adams e colaboradores (Adams & Courage, 1995; Adams et al., 1991), utilizando métodos psicofísicos com tarefas de habituação mostram que bebês, do nascimento ao final do primeiro mês, conseguem discriminar um estímulo vermelho de um estímulo verde, mas não conseguem discriminar estes estímulos de um outro estímulo amarelo. Aos 2 meses de vida, os bebês mostram uma discriminação entre o verde e o amarelo e somente no final do 3º mês de vida é que eles conseguem discriminar o amarelo do vermelho.

Estudos de medidas de discriminação cromática mostram que esta função, como a função de sensibilidade ao contraste de luminância, também apresenta um desenvolvimento contínuo até o final da adolescência (Knoblauch et al., 2001). Este tempo relativamente longo da melhora do desempenho para esta função deve estar relacionado com o desenvolvimento de vias pós-receptorais do processamento cromático, uma vez que as respostas dos fotorreceptores parecem estar equiparadas às dos adultos já no final do segundo mês de vida (Bieber, Knoblauch, & Werner, 1998).

O desenvolvimento da sensibilidade ao contraste cromática em bebês tem sido estudado, principalmente, por métodos eletrofisiológicos de medidas de potenciais visuais evocados. O estudo de Allen, Banks e Norcia (1993) mostrou que a sensibilidade de bebês de 2 a 8 semanas de vida para o contraste entre verde e vermelho é muito inferior à de adultos. Valores semelhantes aos de adultos são encontrados em crianças a partir de 6 anos de idade (Berninger et al. 1999).

Funções visuais em algumas patologias

Prematuridade

O nascimento prematuro implica em uma série de riscos para as funções visuais, uma vez que muitas estruturas oculares, principalmente a retina, ainda se encontram em fase de desenvolvimento. A interrupção da gestação precocemente pode levar a um quadro clínico oftalmológico chamado de retinopatia da prematuridade, acarretando em uma série de alterações visuais como ambliopia (diferença interocular de visão), estrabismo e uma maior prevalência de erro refrativo (Buysse, Casteels, Dieltiens, Eggermont, & Missotten, 1994; Darlow, Horwood, Mogridge, & Clemett, 1997; Gallo, Holmstrom, Kugelberg, Hedquist, & Lennerstrand, 1993; Hack et al., 2005; Page, Schneeweiss, Whyte, & Harvey, 1993; Repka, 2002; Ricci, 1999; Tuppurainen, Herrgard, Martikainen & Mantyjarvi, 1993). Alterações na acuidade visual são descritas em estudos comparando resultados em crianças e bebês prematuros que apresentam seqüelas de retinopatia da prematuridade com crianças e bebês saudáveis (Birch & Spencer, 1991b; Palmer, 2001; Powls, Botting, Cooke, Stephenson, & Marlow, 1997; Ricci, 1999; Robinson & Jan, 1993; Rudanko, Fellman, & Laatikainen, 2003).

Não são verificadas perdas de acuidade visual são observados se a retinopatia da prematuridade não deixar seqüelas (Zubcov et al., 2002).

Achados semelhantes são encontrados para a função de sensibilidade ao contraste. O estudo de (Palmer, 2001) mostra melhora nos resultados de sensibilidade ao contraste medidos em bebês com retinopatia da prematuridade depois da crioterapia, tratamento realizado para se tratar este tipo de retinopatia, porém, estes resultados ainda são piores nos bebês prematuros que tiveram retinopatia, mesmo após o tratamento quando comparados com os bebês prematuros sem a retinopatia.

Nossos estudos de medida de sensibilidade ao contraste em bebês normais e prematuros saudáveis e sem retinopatia da prematuridade, por métodos eletrofisiológicos de potenciais visuais evocados de varredura (Oliveira, Costa, & Ventura, 2005; Oliveira, Costa, de Souza, & Ventura, 2004), corroboram os estudos psicofísicos realizados com bebês (Birch & Spencer, 1991a; Birch & O'Connor, 2001) e o realizado com crianças de idade variando entre 7-13 anos

(Jackson, Ong, McIndoe, & Ripley, 2003) mostrando que não há diferença nos valores medidos para esta função visual comparando os dois grupos.

Paralisia Cerebral

A paralisia cerebral é uma desordem motora que ocorre por dano cerebral. Em associação ao prejuízo motor são encontradas várias alterações oftalmológicas e de funções visuais, destacando-se estrabismo, defeito de campo visual, paralisias de músculos extra-oculares, paralisia de acomodação (foco para perto), nistagmo (tremor incontrollável dos olhos), ambliopia e o erro refrativo (Black, 1982; Breakey, Wilson, & Wilson, 1974; Erkkilä, Lindberg, & Kallio, 1996; Fedrizzi et al., 1998; Govind & Lamba, 1988; Guzzetta et al., 2001).

Estudos de funções visuais têm se concentrado na medida da acuidade visual e em medidas de funções corticais perceptuais complexas, relacionadas à visão, como discriminação figura-fundo (Marozas & May, 1986; May, 1978), agnosias visuais (Bronnikov & Abramova, 2004), associação figura-cor e sequenciamento de imagem (Fedrizzi et al., 1998; Marozas & May, 1986) e medidas neuropsicológicas relacionadas a cor e forma (Byrne, 1984).

A revisão da literatura mostra que poucos estudos avaliam a acuidade visual de bebês e crianças que apresentam somente o diagnóstico de paralisia cerebral. Muitos trabalhos incluem a paralisia cerebral como uma das doenças neurológicas ou como um dos fatores etiológicos em estudos que medem a acuidade visual de bebês prematuros ou de risco para doenças neurológicas (Castane, Peris, & Sanchez, 1995; Chen et al., 1992; Decoufle, Boyle, Paulozzi, & Lary, 2001; Eken et al., 1995; Groenendaal & Hof-van Duin, 1990; Pennefather & Tin, 2000; Pinto Martin et al., 1996; Pojda-Wilczek, Kicinska, & Krupinska, 2004).

A medida da acuidade visual é realizada em sua grande maioria por métodos comportamentais. Uma vez que o comprometimento motor na paralisia cerebral é variado, não há como se precisar o nível desta influência motora na avaliação visual. Assim, os estudos mostram que a acuidade visual de crianças e bebês com paralisia cerebral é reduzida, em relação à dos normais (Guzzetta et al., 2001; Hertz, 1987; Hertz & Rosenberg, 1988; Hertz & Rosenberg, 1993; Ipata et al., 1994; Lo Cascio, 1977).

Nossos estudos com bebês e crianças com paralisia cerebral avaliaram apenas crianças que apresentavam o tipo espástico, mais freqüente e que causa prejuízos motores mais graves. As medidas que fizemos foram realizadas usando a metodologia do potencial visual evocado de varredura. Nestes trabalhos mostramos que estes pacientes apresentam resultados de acuidade visual que vão desde o normal até a condição de visão sub-normal. Ambliopia também foi encontrada em uma incidência maior do que em bebês e crianças normais (Costa et al., 2001; Costa et al., 2002). No entanto, encontramos uma alta relação com o tipo de defeito motor e, além disso, uma alta correlação positiva foi achada entre o grau de defeito motor, avaliado por uma escala específica para paralisia cerebral, e o prejuízo da acuidade visual (Costa et al., 2004). A metodologia do PVE de varredura que utilizamos nos permitiu medir a acuidade visual em um intervalo de tempo mais curto do que os testes comportamentais necessitam e, pelo fato de estarmos medindo respostas corticais por eletrodos de eletroencefalograma, minimizamos possíveis influências motoras que poderiam prejudicar a precisão da medida. Comparando-se nesses mesmos sujeitos as medidas realizadas pelos testes comportamental e eletrofisiológico, verificamos que em todos os subgrupos de pacientes com diferentes tipos de prejuízo (doplégico, hemiplégico e tetraplégico), conforme aumenta a gravidade do quadro motor, ocorre proporcionalmente uma redução da precisão na medida pelo teste comportamental e uma diferença significativa entre aos valores medidos pelas duas metodologias (Costa et al., 2007).

As alterações visuais descritas têm impacto nas habilidades funcionais destas crianças e influenciam negativamente as atividades cognitivas (Jacobson et al., 1996; Jacobson et al., 2002; Menken, Cermak, & Fisher, 1987), as atividades visuo-motoras das crianças que estão em idade escolar (Dellatolas et al., 2005; Porro et al., 2005), assim como as atividades ocupacionais diárias (Schenk-Rootlieb et al., 1993).

Síndrome de Down

A síndrome de Down (trissomia do cromossomo 21) é uma doença genética que leva a uma série de alterações físicas e mentais, incluindo alterações visuais. Os achados oftalmológicos mais freqüentes na síndrome de Down são o erro refrativo, estrabismo, opacidade de cristalino e a alteração de

acomodação (Haugen, Hovding, & Lundstrom, 2001; Woodhouse et al., 1996; Woodhouse et al., 2000).

Estudos de medida de acuidade visual mostram que os bebês com síndrome de Down apresentam entre 6 meses e dois anos de idade valores de acuidade visual normal com piora progressiva após esta idade, ligada a alterações nos fatores ópticos e neurológicos (Courage, Adams, Reyno, & Kwa, 1994; Woodhouse et al., 1996). Nossos dados obtidos em 18 crianças com síndrome de Down com idade entre 6-12 meses mostram acuidade visual normal, estando de acordo com os poucos relatos descritos na literatura.

A medida da sensibilidade ao contraste encontrou uma redução em todas as frequências espaciais porém, mais acentuada nas baixas frequências espaciais quando os dados de bebês com Down são comparados com bebês normais (Courage, Adams, & Hall, 1997; Perez-Carpinell, de Fez, & Climent, 1994). Estes resultados indicam comprometimento das vias neurais, uma vez que as reduções para as altas frequências espaciais são primariamente de origem óptica enquanto que as alterações nas baixas frequências espaciais são de origem neural.

Considerações finais

Bebês apresentam grande parte do substrato anatômico e fisiológico para desempenhar funções visuais espaciais, já ao nascimento. No entanto, o desempenho destas funções é extremamente pobre, se compararmos com as do adulto, e somente a experiência visual adequada garantirá o desenvolvimento pleno das capacidades funcionais. A visão de cores necessita de um período além do gestacional para se estabelecer. O conhecimento destes períodos de desenvolvimento e de sua dinâmica ao longo da infância e adolescência são informações preciosas para quem estuda e trabalha com o desenvolvimento humano.

Costa, M. F., Oliveira, A. G. F., Bergamasco, N. H. P., & Ventura, D. F. (2007). Psychophysical and electrophysiological visual function measurements in infants: a review. *Psicologia USP*, 17(4), 15-33.

Abstract: Many functions are present in the visual system at the birth. The time required for maturation varies among these functions. In this paper, we first show how visual psychophysics and electrophysiology have been collaborating to the measurement and to the study of the development of three visual functions: visual acuity, contrast sensitivity and color vision. In a second part, we discuss how the measurements and the development of these functions could be impaired in pathologies that affect the visual system as prematurity and cerebral palsy.

Index terms: Psychophysics. Electrophysiology. Visual acuity. Contrast sensitivity. Color discrimination.

Costa, M. F., Oliveira, A. G. F., Bergamasco, N. H. P., & Ventura, D. F. (2007). Mésures psychophysiques et électrophysiologiques de la fonction visuelle de l'enfant en bas âge: une revue. *Psicologia USP*, 17(4), 15-33.

Résumé: Le système visuel présente, à la naissance, de nombreuses fonctions, dont le processus de maturation se fait en des temps divers. Dans ce travail nous montrons d'abord comment la psychophysique et l'électrophysiologie visuelles ont contribué à la mensuration et à l'étude du développement de trois fonctions visuelles: acuité visuelle, sensibilité au contraste et vision des couleurs. Dans un deuxième temps, nous pondérons comment la mesure et le développement de ces fonctions peuvent être compromis dans les cas de pathologies qui affectent le système visuel, telles que naissance prématurée et paralysie cérébrale.

Mots-clés: Psychophysique. Electrophysiologie. Acuité visuelle. Sensibilité de contraste (vision). Discrimination des couleurs.

Referências

Adams, R. J. & Courage, M. L. (1995). Development of chromatic discrimination in early infancy. *Behavioural Brain Research*, 67, 99-101.

- Adams, R. J. & Courage, M. L. (1996). Monocular contrast sensitivity in 3- to 36-month-old human infants. *Optometry and Vision Science*, 73, 546-551.
- Adams, R. J. Courage, M. L. & Mercer, M. E. (1991). Deficiencies in human neonates color-vision - photoreceptor and neural explanations. *Behavioural Brain Research*, 43, 109-114.
- Allen, D., Banks, M. S., & Norcia, A. M. (1993). Does chromatic sensitivity develop more slowly than luminance sensitivity. *Vision Research*, 33, 2553-2562.
- Atkinson, J. & Braddick, O. (1983). Assessment of visual acuity in infancy and early childhood. *Acta Ophthalmologica Supplement*, 157, 18-26.
- Benardete, E. A., Kaplan, E., & Knight, B. W. (1992). Contrast gain control in the primate retina: P cells are not X-like, some M cells are. *Visual Neuroscience*, 8, 483-486.
- Berninger, T., Drobner, B., Hogg, C., Rudolph, G., Arden, G. B., & Kampik, A. (1999). Color vision in relation to age: A study of normal values. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 215, 37-42.
- Bieber, M. L., Knoblauch, K., & Werner, J. S. (1998). M- and L-cones in early infancy: II. Action spectra at 8 weeks of age. *Vision Research*, 38, 1765-1773.
- Birch, E. E., Fawcett, S., & Stager, D. R. (2000). Why does early surgical alignment improve stereoacuity outcomes in infantile esotropia? *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 4, 10-14.
- Birch, E. E. & O'Connor, A. R. (2001). Preterm birth and visual development. *Seminars in Neonatology*, 6, 487-497.
- Birch, E. E. & Spencer, R. (1991a). Monocular grating acuity of healthy preterm infants. *Clinical Vision Sciences*, 6, 331-334.
- Birch, E. E. & Spencer, R. (1991b). Visual outcome in infants with cicatricial retinopathy of prematurity. *Investigative Ophthalmology Visual Science*, 32, 410-415.
- Birch, E. E. & Swanson, W. H. (2000). Hyperacuity deficits in anisometric and strabismic amblyopes with known ages of onset. *Vision Research*, 40, 1035-1040.
- Black, P. (1982). Visual disorders associated with cerebral palsy. *British Journal of Ophthalmology*, 66, 46-52.
- Bowen, R. W. (1997). Isolation and interaction of ON and OFF pathways in human vision: Contrast discrimination at pattern offset. *Vision Research*, 37, 185-198.
- Bowering, E. R., Maurer, D., Lewis, T. L., & Brent, H. P. (1997). Constriction of the visual field of children after early visual deprivation. *Journal of Pediatric Ophthalmology & Strabismus*, 34, 347-356.

- Breakey, A. S., Wilson, J. J., & Wilson, B. C. (1974). Sensory and perceptual functions in the cerebral palsied. 3. Some visual perceptual relationships. *Journal of Nervous and Mental Disease, 158*, 70-77.
- Bronnikov, V. A. & Abramova, N. A. (2004). Higher cortical functions in children with spastic forms of cerebral palsy. *Zhurnal Nevropatologii I Psikhiatrii Imeni S S Korsakova, 104*, 9-15.
- Burkhalter, A., Bernardo, K. L., & Charles, V. (1993). Development of local circuits in human visual-cortex. *Journal of Neuroscience, 13*, 1916-1931.
- Buysse, S., Casteels, I., Dieltiens, M., Eggermont, E., & Missotten, L. (1994). Ocular findings in prematurely born children at the age of 12. *Bulletin de la Societe Belge D'ophtalmologique, 254*, 71-78.
- Byrne, J. M. (1984). Cognitive-perceptual abilities of a neurologically impaired infant: An alternative assessment strategy. *Developmental Medicine and Child Neurology, 26*, 391-395.
- Castane, M., Peris, E., & Sanchez, E. (1995). Ocular dysfunction associated with mental handicap. *Ophthalmic & Physiologucal Optics, 15*, 489-492.
- Chen, T. C., Weinberg, M. H., Catalano, R. A., Simon, J. W., & Wagle, W. A. (1992). Development of object vision in infants with permanent cortical visual impairment. *American Journal of Ophthalmology, 114*, 575-578.
- Costa, M. F., Haro-Munoz, F. M., Berezovsky, A., Salomao, S. R., de Souza, J. M., & Ventura, D. F. (2002). Grating acuity deficit and amblyopia by sweep-vep in children with spastic cerebral palsy. *Investigative Ophthalmology & Visual Science, 43*, U1323.
- Costa, M. F., Oliveira, A. G. F., & Ventura, D. F. (in press). Psychophysical and electrophysiological visual acuity measurement in spastic cerebral palsy children. *Neuroscience and Behavioural Reviews*.
- Costa, M. F., Salomao, 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. *Behavaioual Brain Research, 149*, 145-150.
- Costa, M. F., Ventura, D. F., Salomo, S. R., Berezovsky, A., De Haro, F. M. B., & Tabuse, M. K. U. (2001). Grating acuity measured by sweep VEP in children with spastic cerebral-palsy. *Investigative Ophthalmology & Visual Science, 42*, S787.
- Courage, M. L., Adams, R. J., & Hall, E. J. (1997). Contrast sensitivity in infants and children with Down syndrome. *Vision Resarch, 37*, 1545-1555.
- Courage, M. L., Adams, R. J., Reyno, S., & Kwa, P. G. (1994). Visual acuity in infants and children with Down syndrome. *Developmental Medicine and Child Neurology, 36*, 586-593.

- Darlow, B. A., Horwood, L. J., Mogridge, N., & Clemett, R. S. (1997). Prospective study of New Zealand very low birthweight infants: Outcome at 7-8 years. *Journal of Paediatrics and Child Health*, *33*, 47-51.
- Daw, N. W. (1998). Critical periods and amblyopia. *Archives of Ophthalmology*, *116*, 502-505.
- de Haro, F. B., Haro-Munoz, E., Berezovsky, A., Mazzitelli, C., Cinoto, R. W., Vaz, F. A. C. et al. (2000). Visual acuity in preterm infants with and without associated risk factors. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *41*, S624.
- Decoufle, P., Boyle, C. A., Paulozzi, L. J., & Lary, J. M. (2001). Increased risk for developmental disabilities in children who have major birth defects: A population-based study. *Pediatrics*, *108*, 728-734.
- Dellatolas, G., Nunes, G., Souza, L., Nunes, L. G., & Braga, L. W. (2005). Manual skill, hand skill asymmetry, and neuropsychological test performance in schoolchildren with spastic cerebral palsy. *Laterality*, *10*, 161-182.
- Dobkins, K. R., Anderson, C. M., & Kelly, J. (2001). Development of psychophysically-derived detection contours in L- and M-cone contrast space. *Vision Research*, *41*, 1791-1807.
- Eken, P., De Vries, L. S., Van der Graaf, Y., Meiners, L. C., & Van Nieuwenhuizen, O. (1995). Haemorrhagic-ischæmic lesions of the neonatal brain: Correlation between cerebral visual impairment, neurodevelopmental outcome and MRI in infancy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *37*, 41-55.
- Erkkila, H., Lindberg, L., & Kallio, A. K. (1996). Strabismus in children with cerebral palsy. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, *74*, 636-638.
- Fedrizzi, E., Anderloni, A., Bono, R., Bova, S., Farinotti, M., Inverno, M. et al. (1998). Eye-movement disorders and visual-perceptual impairment in diplegic children born preterm: A clinical evaluation. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *40*, 682-688.
- Flynn, J. T., Hamasaki, D. I., Flynn, T. E., & Barricks, M. (1975). Letter: Development of visual acuity and the sensitive period. *Nature*, *257*, 337-338.
- Freeman, D. N. & Marg, E. (1975). Visual acuity development coincides with the sensitive period in kittens. *Nature*, *254*, 614-615.
- Gallo, J. E., Holmstrom, G., Kugelberg, U., Hedquist, B., & Lennerstrand, G. (1993). Regressed retinopathy of prematurity in children aged 5-10 years. *Acta Ophthalmologica Supplement*, 41-43.
- Gil, A., Ramirez, M., & Gil, M. (2003). Role of long-chain polyunsaturated fatty acids in infant nutrition. *European Journal Clinical Nutrition*, *57*(Suppl. 1), S31-S34.
- Glass, P. (2002). Development of the visual system and implications for early intervention. *Infants and Young Children*, *15*, 1-10.

- Gordon, G. E. & McCulloch, D. L. (1999). A VEP investigation of parallel visual pathway development in primary school age children. *Documenta Ophthalmologica*, 99, 1-10.
- Govind, A. & Lamba, P. A. (1988). Visual disorders in cerebral palsy. *Indian Journal Ophthalmology*, 36, 88-91.
- Groenendaal, F. & Hof-van Duin, J. (1990). Partial visual recovery in two fullterm infants after perinatal hypoxia. *Neuropediatrics*, 21, 76-78.
- Guzzetta, A., Fazzi, B., Mercuri, E., Bertucelli, B., Canapicchi, R., Hof-van Duin, J. et al. (2001). Visual function in children with hemiplegia in the first years of life. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 43, 321-329.
- Hack, M., Taylor, H. G., Drotar, D., Schluchter, M., Cartar, L., Andreias, L. et al. (2005). Chronic conditions, functional limitations, and special health care needs of school-aged children born with extremely low-birth-weight in the 1990s. *Jama-Journal of the American Medical Association*, 294, 318-325.
- Haugen, O. H., Hovding, G., & Lundstrom, I. (2001). Refractive development in children with Down's syndrome: A population based, longitudinal study. *British Journal of Ophthalmology*, 85, 714-719.
- Heird, W. C. & Lapillonne, A. (2005). The role of essential fatty acids in development. *Annual Review Nutrition*, 25, 549-571.
- Hertz, B. G. (1987). Acuity card testing of retarded children. *Behavioural Brain Research*, 24, 85-92.
- Hertz, B. G. & Rosenberg, J. (1988). Acuity card testing of spastic children: Preliminary results. *Journal of Pediatric Ophthalmology & Strabismus*, 25, 139-144.
- Hertz, B. G. & Rosenberg, J. (1993). Visual acuity testing with visual acuity cards in mentally retarded children and children with motoric handicaps. *Ugeskrift For Laeger*, 155, 800-803.
- Hoyt, C. S., Nickel, B. L., & Billson, F. A. (1982). Ophthalmological examination of the infant. Developmental aspects. *Survey of Ophthalmology*, 26, 177-189.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1970). Period of susceptibility to physiological effects of unilateral eye closure in kittens. *Journal of Physiology-London*, 206, 419-436.
- Hubel, D. H., Wiesel, T. N., & Levay, S. (1977). Plasticity of ocular dominance columns in monkey striate cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 278, 377-409.
- Ipata, A. E., Cioni, G., Bottai, P., Fazzi, B., Canapicchi, R., & Hof-van Duin, J. (1994). Acuity card testing in children with cerebral palsy related to magnetic resonance images, mental levels and motor abilities. *Brain Development*, 16, 195-203.

- 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.
- Jacobson, L., Ek, U., Fernell, E., Flodmark, O. & Broberger, U. (1996). Visual impairment in preterm children with periventricular leukomalacia--visual, cognitive and neuropaediatric characteristics related to cerebral imaging. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *38*, 724-735.
- Jacobson, L., Ygge, J., Flodmark, O., & Ek, U. (2002). Visual and perceptual characteristics, ocular motility and strabismus in children with periventricular leukomalacia. *Strabismus*, *10*, 179-183.
- Katz, B. & Sireteanu, R. (1992). Development of visual-acuity in kittens - A comparison between jumping stand and teller acuity card test. *Clinical Vision Sciences*, *7*, 219-224.
- Keech, R. V. & Kutschke, P. J. (1995). Upper age limit for the development of amblyopia. *Journal of Pediatric Ophthalmology & Strabismus*, *32*, 89-93.
- Knoblauch, K., Vital-Durand, F., & Barbur, J. L. (2001). Variation of chromatic sensitivity across the life span. *Vision Research*, *41*, 23-36.
- Lewis, T. L., Maurer, D., Chung, J. Y. Y., Holmes-Shannon, R. & Van Schaik, C. S. (2000). The development of symmetrical OKN in infants: Quantification based on OKN acuity for nasalward versus temporalward motion. *Vision Research*, *40*, 445-453.
- Lo Cascio, G. P. (1977). A study of vision in cerebral palsy. *American Journal Optometry Physiological Optics*, *54*, 332-337.
- Marozas, D. S. & May, D. C. (1986). Research on effects of color reversal on the visual perceptual and visuomotor performances of spastic cerebral palsied and other exceptional individuals. *Perceptual and Motor Skills*, *62*, 595-607.
- Maurer, D. & Lewis, T. L. (2001). Visual acuity: The role of visual input in inducing postnatal change. *Clinical Neuroscience Research*, *1*, 239-247.
- May, D. C. (1978). Effects of color reversal of figure and ground drawing materials on drawing performance. *Exceptional Children*, *44*, 254-260.
- Mayer, D. L., Beiser, A. S., Warner, A. F., Pratt, E. M., Raye, K. N., & Lang, J. M. (1995). Monocular acuity norms for the Teller Acuity Cards between ages one month and four years. *Investigative Ophthalmology Visual Science*, *36*, 671-685.
- 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.
- McCulloch, D. L. & Skarf, B. (1991). Development of the human visual system: Monocular and binocular pattern VEP latency. *Investigative Ophthalmology Visual Science*, *32*, 2372-2381.

- Menken, C., Cermak, S. A., & Fisher, A. (1987). Evaluating the visual-perceptual skills of children with cerebral palsy. *American Journal of Occupational Therapy*, 41, 646-651.
- Neuringer, M. & Jeffrey, B. G. (2003). Visual development: Neural basis and new assessment methods. *Journal of Pediatric*, 143, S87-S95.
- Norcia, A. M. & Tyler, C. W. (1985). Spatial frequency sweep VEP: Visual acuity during the first year of life. *Vision Research*, 25, 1399-1408.
- Oliveira, A. G., Costa, M. F. & Ventura, D. F. (2005). Luminance spatial contrast sensitivity measured by the sweep-visual evoked potential in preterm and term infants during the first year of life. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46.
- 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.
- Page, J. M., Schneeweiss, S., Whyte, H. E. A., & Harvey, P. (1993). Ocular sequelae in premature-infants. *Pediatrics*, 92, 787-790.
- Palmer, E. A. (2001). Contrast sensitivity at age 10 years in children who had threshold retinopathy of prematurity. *Archives of Ophthalmology*, 119, 1129-1133.
- Pennefather, P. M. & Tin, W. (2000). Ocular abnormalities associated with cerebral palsy after preterm birth. *Eye*, 14(Pt. 1), 78-81.
- Perez-Carpinell, J., de Fez, M. D., & Climent, V. (1994). Vision evaluation in people with Down's syndrome. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 14, 115-121.
- Pinto Martin, J. A., Dobson, V., Cnaan, A., Zhao, H. Q., & Paneth, N. S. (1996). Vision outcome at age 2 years in a low birth weight population. *Pediatric Neurology*, 14, 281-287.
- Pojda-Wilczek, D., Kicinska, A., & Krupinska, N. (2004). Severe visual impairment of children with hydrocephalus and concomitant diseases. *Klinika Oczna*, 106, 577-579.
- Porro, G., Van der Linden, D., Van Nieuwenhuizen, O., & Wittebol-Post, D. (2005). Role of visual dysfunction in postural control in children with cerebral palsy. *Neural Plasticity*, 12, 205-210.
- Powls, A., Botting, N., Cooke, R. W. I., Stephenson, G., & Marlow, N. (1997). Visual impairment in very low birthweight children. *Archives of Disease in Childhood*, 76, F82-F87.
- Repka, M. X. (2002). Ophthalmological problems of the premature infant. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 8, 249-257.
- Ricci, B. (1999). Refractive errors and ocular motility disorders in preterm babies with and without retinopathy of prematurity. *Ophthalmologica*, 213, 295-299.

- Robinson, G. C. & Jan, J. E. (1993). Acquired ocular visual impairment in children. 1960-1989. *American Journal of Diseases of Children*, 147, 325-328.
- Roy, M. S., Barsoumhomysy, M., Orquin, J., & Benoit, J. (1995). Maturation of binocular pattern visual-evoked potentials in normal full-term and preterm infants from 1 to 6 Months of Age. *Pediatric Research*, 37, 140-144.
- Rudanko, S. L., Fellman, V., & Laatikainen, L. (2003). Visual impairment in children born prematurely from 1972 through 1989. *Ophthalmology*, 110, 1639-1645.
- Salomao, S. R., Berezovsky, A., Cinoto, R. W., Haro, F. M. B., Costa, M. F., & Ventura, D. F. (1999). Very early sweep-VEP acuity development in preterm infants. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 40, S822.
- Salomao, 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.
- Schenk-Rootlieb, A. J., Van Nieuwenhuizen, O., Schiemanck, N., Van der Graaf, Y., & Willemsse, J. (1993). Impact of cerebral visual impairment on the everyday life of cerebral palsied children. *Child Care Health Development*, 19, 411-423.
- Shimojo, S. (1992). Behavioral-assessment of visual functions in infants. *Biomedical Research-Tokyo*, 13, 61-72.
- Sireteanu, R., Kellerer, R., & Boergen, K. P. (1984). The development of peripheral visual acuity in human infants. A preliminary study. *Human Neurobiology*, 3, 81-85.
- Skoczenski, A. M. & Norcia, A. M. (1999). Development of VEP vernier acuity and grating acuity in human infants. *Investigative Ophthalmology Visual Science*, 40, 2411-2417.
- Sokol, S. & Moskowitz, A. (1985). Comparison of pattern VEPs and preferential-looking behavior in 3-month-old infants. *Investigative Ophthalmology Visual Science*, 26, 359-365.
- Stark, D. J. (1980). Clinical uses of the visually evoked potential. *Australian Journal of Ophthalmology*, 8, 211-218.
- Sugita, Y. (2004). Experience in early infancy is indispensable for color perception. *Current Biology*, 14, 1267-1271.
- Suzuki, Y. & Awaya, S. (1995). Studies on development of visual acuity in infants measured by the Teller Acuity Cards. *Japanese Journal of Ophthalmology*, 39, 166-171.
- Teller, D. Y. & Movshon, J. A. (1986). Visual development. *Vision Research*, 26, 1483-1506.
- Thompson, D. A., Moller, H., Russell-Eggitt, I., & Kriss, A. (1996). Visual acuity in unilateral cataract. *British Journal of Ophthalmology*, 80, 794-798.

- Tuppurainen, K., Herrgard, E., Martikainen, A., & Mantyjarvi, M. (1993). Ocular findings in prematurely born children at 5 years of age. *Graefes Archives for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 231, 261-266.
- Uauy, R. & Dangour, A. D. (2006). Nutrition in brain development and aging: Role of essential fatty acids. *Nutrition Reviews*, 64, S24-S33.
- Uauy, R., Mena, P., & Rojas, C. (2000). Essential fatty acids in early life: Structural and functional role. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59, 3-15.
- Vital-Durand, E. (1999). Development of vision in the infant - A call for screening. *Archives de Pediatrie*, 6, 348S-350S.
- Woodhouse, J. M., Cregg, M., Gunter, H. L., Sanders, D. P., Saunders, K. J., Pakeman, V. H. et al. (2000). The effect of age, size of target, and cognitive factors on accommodative responses of children with Down syndrome. *Investigative Ophthalmology Visual Science*, 41, 2479-2485.
- Woodhouse, J. M., Pakeman, V. H., Saunders, K. J., Parker, M., Fraser, W. I., Lobo, S. et al. (1996). Visual acuity and accommodation in infants and young children with Down's syndrome. *Journal Intellectual Disability Research*, 40 (Pt. 1), 49-55.
- Zubcov, A. A., Rossillion, B. M., Kacer, B., Stark, N., Schlosser, R., & Vanselow, K. (2002). Predictive value of Teller Acuity Card Test (TACT) and comparison of recognition and grating acuities in premature children with and without residua of Retinopathy of Prematurity (ROP). *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 219, 722-727.

Recebido em: 30/11/2006

Aceito em: 20/12/2006