

# Triagem visual usando uma plataforma no smartphone

## Vision screening using a smartphone platform

Iara Debert<sup>a,\*</sup> , Douglas Rodrigues da Costa<sup>a</sup> , Mariza Polati<sup>a</sup> ,  
Janaina Guerra Falabretti<sup>a</sup> , Remo Susanna Junior<sup>a</sup> 

### RESUMO

**Objetivo:** Avaliar a performance de uma plataforma desenvolvida para pediatras para triagem de ambliopia utilizando um smartphone.

**Métodos:** Os prontuários consecutivos de crianças submetidas a triagem visual usando uma plataforma no smartphone foram analisados retrospectivamente. Uma capa concentradora de flash foi utilizada no smartphone com um software para capturar imagens simultâneas dos dois olhos por um mecanismo de fotorrefração. A performance da plataforma foi comparada ao exame oftalmológico completo, considerado o padrão ouro para detecção de ambliopia. Foram calculados sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo e valor preditivo negativo do software em detectar fatores de risco para ambliopia.

**Resultados:** Foram incluídas 157 crianças com idade média de  $6.0 \pm 0.5$  anos (variação de 5 a 7 anos). Em 94% dos casos, o software foi capaz de analisar as imagens e fornecer um resultado, determinando se a criança apresentava ou não fatores de risco para ambliopia. Comparados ao exame oftalmológico, a sensibilidade da plataforma no smartphone em detectar fatores de risco para ambliopia foi de 84%, a especificidade foi de 74%, o valor preditivo positivo foi de 86% e o valor preditivo negativo foi de 70%.

**Conclusões:** A plataforma de triagem por fotorrefração usando o smartphone apresentou sensibilidade e especificidade para detectar fatores de risco para ambliopia semelhantes às encontradas em instrumentos tradicionais de triagem por fotorrefração. Uma plataforma no smartphone é uma alternativa custo-efetiva promissora para auxiliar pediatras a minimizar os obstáculos para triagem visual e detecção da ambliopia. Estudos futuros são necessários a fim de reunir dados comparativos adicionais.

**Palavras-chave:** Seleção visual; Ambliopia; Erros de refração.

### ABSTRACT

**Objective:** The main aim of this study was to evaluate the performance of a platform designed for pediatricians to screen amblyopia using a smartphone.

**Methods:** The medical records of consecutive children who received visual screening using a smartphone platform were retrospectively reviewed. The smartphone was used with a flash concentrator case and a software for capturing images of both eyes simultaneously by a photorefractive mechanism. The platform performance was compared to the comprehensive ophthalmological examination, which is considered the gold standard for detecting amblyopia. Sensitivity, specificity, positive predictive value, and negative predictive value of the software in detecting amblyopia risk factors were calculated.

**Results:** A total of 157 children were included, with a mean age of  $6.0 \pm 0.5$  years (range 5–7). In 94% of the cases, the software was able to analyze the images and release a result, determining whether or not the child presented with amblyopia risk factors. Compared to the ophthalmological examination, the smartphone platform sensitivity in detecting amblyopia risk factors was 84%, the specificity was 74%, the positive predictive value was 86%, and the negative predictive value was 70%.

**Conclusions:** The sensitivity and specificity of the smartphone photoscreening platform to detect amblyopia risk factors were within the range of traditional instrument-based vision screening technology. A smartphone photorefractive platform appears to be a promising cost-effective alternative to assist pediatricians and minimize obstacles to vision screening and amblyopia detection. Future studies are needed to gather additional comparative data.

**Keywords:** Vision screening; Amblyopia; Refractive errors.

\*Autor correspondente. E-mail: [iaradebert@gmail.com](mailto:iaradebert@gmail.com) (Debert I.).

<sup>a</sup>Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

Recebido em 21 de janeiro de 2021; aprovado em 06 de junho de 2021.

## INTRODUÇÃO

O principal objetivo da triagem visual na infância é detectar a ambliopia, a principal causa de comprometimento monocular da visão em crianças e adultos jovens.<sup>1,2</sup> A ambliopia é definida como a redução da acuidade visual melhor corrigida causada por desenvolvimento visual anormal. A maturação visual adequada requer que o cérebro obtenha imagens de ambos os olhos simultaneamente e com clareza semelhante. Qualquer aspecto que interfira no desenvolvimento das vias visuais durante o período crítico de maturação visual pode causar ambliopia, em decorrência da estimulação inadequada do córtex visual.<sup>1,3</sup> As principais causas são erros de refração e estrabismo. Embora a perda visual por ambliopia seja evitável e possa ser tratada com sucesso na infância, pode resultar em perda visual permanente e irreversível se não diagnosticada e tratada precocemente.<sup>4</sup>

O teste de acuidade visual é o método tradicional e mais amplamente usado para detecção de ambliopia em crianças verbais. Pode ser realizado como triagem visual por professores ou pediatras. É uma medida subjetiva e requer a participação da criança para identificar optotipos como formas, símbolos ou letras usando cada olho separadamente.<sup>5-7</sup> Para crianças pré-verbais, a acuidade visual e a ambliopia podem ser acessadas por testes de olhar preferencial (por exemplo, o Teste de Acuidade de Teller e o Teste de Lea Gratings), teste de preferência de fixação em pacientes com desvio ocular e teste eletrofisiológico usando potencial visual evocado de varredura. Para fins de triagem em crianças pré-verbais ou para aquelas que não cooperam para a medida monocular da acuidade visual, a detecção de fatores de risco para ambliopia pode ser feita por fotorrefração, triagem baseada em um instrumento que identifica os principais fatores de risco para ambliopia: hipermetropia (dificuldade em ver de perto), miopia (dificuldade em ver de longe), astigmatismo (diferença nos erros de refração entre os meridianos oculares), estrabismo (desalinhamento dos olhos) e anisometropia (diferença nos erros de refração entre os olhos). *Photoscreeners* são câmeras com *flash* que direcionam a luz aos dois olhos simultaneamente para produzir um reflexo vermelho nas pupilas. O instrumento possui um *software* que analisa as crescentes de luz relacionadas ao *defocus* nas imagens geradas para determinar se a criança passa no teste ou se deve ser encaminhada para avaliação oftalmológica.<sup>8,9</sup> Como a detecção precoce da ambliopia geralmente produz melhores resultados no tratamento, a triagem visual usando fotorrefração tem sido recomendada para crianças pequenas.<sup>10,11</sup>

Mais recentemente, a fotorrefração também tem sido realizada usando uma plataforma no *smartphone*. O *software GoCheck Kids* (Gobiquity Mobile Health, Scottsdale, AZ, EUA) é um *photoscreener* para *smartphone* registrado no U.S. Food and Drug Administration (FDA) e projetado para pediatras para detectar fatores de risco para ambliopia. A primeira versão do *software* era capaz de detectar hipermetropia, miopia e anisometropia,

mas não astigmatismo, porque o erro refrativo era medido em apenas um meridiano.<sup>12-16</sup> Uma nova versão do software foi recentemente desenhada para detectar astigmatismo e melhorar a precisão. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho do *photoscreener GoCheck Kids* em sua versão mais recente na detecção de fatores de risco para ambliopia.

## MÉTODO

Os prontuários médicos de crianças consecutivas que passaram por *photoscreening* usando a plataforma *GoCheck Kids* foram revisados retrospectivamente. Todas as crianças foram submetidas a uma avaliação oftalmológica completa no Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo durante o programa social Visão do Futuro. Nesse programa, as crianças passam por uma triagem prévia em escolas públicas de São Paulo, onde professores locais realizam medidas de acuidade visual monocular usando uma tabela de optotipos (tabela de Snellen). Todas as crianças que falham na triagem local em um ou ambos os olhos são encaminhadas para avaliação oftalmológica especializada. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo (parecer número 29047520.9.0000.0068). Tanto o *photoscreening* quanto o exame oftalmológico foram realizados no mesmo dia e incluíram teste de acuidade visual utilizando a tabela de Snellen, avaliação da motilidade ocular com teste de cobertura, avaliação do segmento anterior com lâmpada de fenda, refração sob cicloplegia com colírio de ciclopentolato 1% e exame de fundo de olho. As crianças que não foram submetidas a um exame oftalmológico completo foram excluídas.

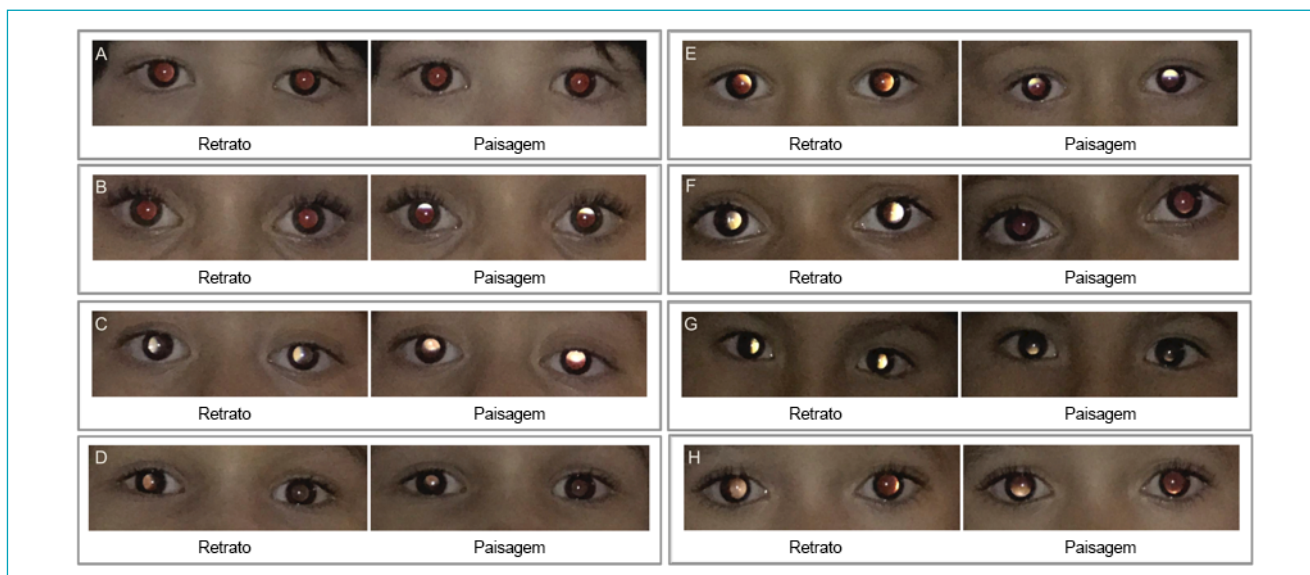
O *photoscreening* foi realizado antes da instilação do colírio cicloplégico. A plataforma *GoCheck Kids* foi utilizada em um Apple iPhone 7 (Apple Inc., Cupertino, CA, EUA) com uma capa concentradora de *flash* para fotorrefração e um *software* para captura e processamento das imagens. Em uma sala com pouca luz, foram tiradas duas fotografias, a primeira com o telefone no modo retrato (meridiano vertical) e a segunda no modo paisagem (meridiano horizontal). Para atrair a atenção da criança a uma distância de aproximadamente 0,7 m, o telefone emite ruídos de animais para tirar uma foto de ambos os olhos simultaneamente em alguns segundos. Referências são exibidas na tela para otimizar o alinhamento e obter a distância apropriada. O examinador revisava as imagens para garantir que a criança estava olhando para a câmera antes de aceitar a foto. Se os olhos estivessem muito longe ou muito próximos, uma mensagem de erro era mostrada e a foto era tirada novamente. As imagens foram então processadas usando o algoritmo do aplicativo, que identifica e cria estimativas das métricas do olho para calcular o valor da fotorrefração. Anisometropia (diferença nos erros de refração entre os olhos) era exibida se houvesse uma diferença significativa nos erros de refração entre os olhos.

A suspeita de estrabismo foi baseada na posição do reflexo de luz na córnea em relação à pupila. Os valores foram comparados aos critérios de encaminhamento do aplicativo para fatores de risco para ambliopia, e um resultado imediato era mostrado automaticamente (Figura 1). Os resultados foram exibidos como “fatores de risco identificados”, “nenhum fator de risco identificado no momento” ou “não graduável”, referindo-se a uma fotografia inadequada. Os principais motivos para as imagens não graduáveis foram a foto ser tirada muito perto ou muito longe dos olhos, a criança não olhar diretamente para a câmera, as pupilas serem muito pequenas decorrente de alta luminosidade e, haver reflexos corneanos espúrios ou a criança estar se movendo quando a foto foi tirada. As imagens foram carregadas automaticamente para o banco de dados do aplicativo, onde foram revisadas remotamente por especialistas treinados em imagem oftálmica. Quando a revisão gerava alteração no resultado, o examinador recebia um *feedback* para atualizar a recomendação. Os resultados atualizados foram incluídos na análise dos dados. Tanto o examinador que executou o *photoscreening* quanto os especialistas em imagens oftálmicas estavam mascarados para os resultados do exame oftalmológico. Além disso, os examinadores que realizaram o exame oftalmológico estavam mascarados para o resultado do *photoscreening*.

As crianças foram consideradas como tendo fatores de risco para ambliopia de acordo com o exame oftalmológico padrão-ouro. Os alvos de fator de risco para ambliopia estão resumidos na Tabela 1, seguindo diretrizes previamente estabelecidas.<sup>10</sup> Sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo e valor preditivo negativo da triagem por *smartphone* na detecção de fatores de risco para ambliopia, com seu respectivo intervalo de confiança de 95% (IC95%), foram calculados usando o método exato de Clopper-Pearson. As análises foram realizadas tanto excluindo, como incluindo os casos “não graduáveis” como “fatores de risco identificados”.

## RESULTADOS

Um total de 157 crianças consecutivas foram avaliadas por *photoscreening* e incluídas no estudo. A idade média foi de  $6,0 \pm 0,5$  anos (faixa de 5–7). Houve um pouco mais meninos do que meninas (52,9 vs. 47,1%). Em 94% dos casos, o *software* conseguiu analisar as imagens e fornecer um resultado. Em comparação com o exame oftalmológico padrão-ouro, a sensibilidade da plataforma no *smartphone* na detecção de fatores de risco para ambliopia foi de 84%, especificidade de 74%, valor preditivo positivo 86% e valor preditivo negativo 70%, excluindo as imagens



**Figura 1** Resultados como exibidos na tela em oito pacientes representativos. Nenhum fator de risco identificado (A). Astigmatismo miópico (B). Miopia (C). Anisometropia miópica (D). Astigmatismo (E). Astigmatismo hipermetrópico (F). Hipermetropia (G). Anisometropia hipermetrópica (H).

**Tabela 1** Fatores de risco para ambliopia em crianças acima de 48 meses de idade.

Fatores de risco para ambliopia				
Hipermetropia	Miopia	Astigmatismo	Anisometropia	Estrabismo
>3,50 D	>1,50 D	>1,50 D	>1,50 D	Desvio manifesto

D: dioptrias.

“não graduáveis”. Houve nove resultados classificados como “não graduáveis”. Destes, sete tinham fatores de risco para ambliopia determinados pelo exame oftalmológico completo: cinco tinham estrabismo (quatro convergentes e um divergente), um tinha alta hipermetropia e um tinha miopia associada a astigmatismo e anisometropia. Duas crianças classificadas como “não graduáveis” não tinham fatores de risco para ambliopia. Quando as imagens “não graduáveis” são incluídas como “fatores de risco identificados”, a sensibilidade passa a 85%, especificidade 71%, valor preditivo positivo 85% e valor preditivo negativo não se modifica (70%). Os intervalos de confiança são fornecidos na Tabela 2.

A prevalência de fatores de risco para ambliopia determinada pelo exame oftalmológico completo foi de 67% (105/157). Houve 16 falsos-negativos e 13 falsos-positivos. Dos falsos-negativos, quatro tinham hipermetropia (dois com astigmatismo associado), sete tinham astigmatismo e cinco tinham anisometropia (uma hipertrópica, uma miópica e três astigmáticas). A apresentação do fator de risco para ambliopia foi unilateral em nove casos e bilateral em sete casos. Dos falsos-positivos, oito (62%) crianças tinham miopia ou astigmatismo entre 1,25 e 1,50 dioptrias. O limiar para miopia e astigmatismo foi  $\geq 1,50$ . Valores baixos de hipermetropia, miopia ou astigmatismo foram encontrados em cinco crianças adicionais.

## DISCUSSÃO

A chave para uma ferramenta de triagem visual bem-sucedida para pediatras é fornecer alta sensibilidade e acurácia com facilidade de uso e velocidade. A fotorrefração permite a detecção de fatores de risco para ambliopia por meio de medidas rápidas em crianças pequenas, de forma precoce o suficiente para obter desfechos favoráveis no tratamento e reduzir a deficiência visual permanente.<sup>17,18</sup> O *software GoCheck Kids* permite que a fotorrefração seja feita usando um smartphone. A sensibilidade e a especificidade da plataforma no *smartphone* para detectar fatores de risco para ambliopia na nossa coorte encontraram-se dentro das faixas dos instrumentos tradicionais baseados em tecnologia de triagem visual.<sup>19-23</sup> Este é o primeiro estudo em uma população brasileira a avaliar a capacidade de uma plataforma de *photoscreening* no

*smartphone* para detectar crianças sob risco de ambliopia, comparando as medidas do *smartphone* com o exame oftalmológico padrão-ouro. Um estudo recente comparou a triagem visual usando a acuidade visual e o *photoscreening* tradicional e encontrou que ambos tiveram valores preditivos positivos semelhantes para detectar a necessidade de uso de óculos. No entanto, o *photoscreening* levou menos tempo, encaminhou mais crianças e detectou um número maior de crianças com ambliopia do que o teste de acuidade visual.<sup>24</sup> Desde o lançamento recente da versão do *software GoCheck Kids* que inclui a detecção de astigmatismo, apenas um estudo avaliou o desempenho deste aplicativo atualizado: Walker et al., em 2020, estudaram crianças de 6 meses a 6 anos e encontraram 91% de sensibilidade, 68% de especificidade, 57% de valor preditivo positivo e 94% de valor preditivo negativo.<sup>25</sup> As principais diferenças de nossos resultados estão relacionadas aos valores preditivos. Nosso menor valor preditivo negativo pode ser atribuído à nossa população de maior risco que teve menor número de resultados negativos (52/157; 33%) em comparação com seu estudo (166/244; 68%). A maioria das crianças do nosso estudo foi previamente triada na escola com testes de acuidade visual realizados por professores locais e, portanto, pode ser considerada uma população de alto risco. Nosso maior valor preditivo positivo também pode ser atribuído à nossa população de maior risco, mas adicionalmente à idade de nossos participantes (média de  $72 \pm 6$  meses), que era maior do que a de seu estudo (média de  $42 \pm 22$  meses). Foi demonstrado que o valor preditivo positivo varia significativamente de acordo com a idade, com crianças mais velhas apresentando maior valor preditivo positivo.<sup>16</sup> Uma limitação de nosso estudo é a falta de comparação com um *photoscreener* tradicional. Os resultados da fotorrefração no *smartphone* foram comparados com o exame oftalmológico completo, mas não com outros dispositivos de triagem. No entanto, usamos as diretrizes criadas pela Associação Americana de Oftalmologia Pediátrica e Estrabismo (*American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*) que comparam as modalidades de triagem visual pediátrica.<sup>10</sup> As comparações foram facilitadas pelo fato de que estudos anteriores que avaliaram *photoscreening* em *smartphones* seguiram as mesmas diretrizes. Os princípios de orientação comparam os resultados da triagem com a avaliação oftalmológica completa da

**Tabela 2** Desempenho do *photoscreener* no *smartphone* para detectar fatores de risco para ambliopia em comparação ao exame oftalmológico completo.

Resultados não graduáveis	n	Métricas de desempenho			
		Sensibilidade, % (IC95%)	Especificidade, % (IC95%)	VPP, % (IC95%)	VPN, % (IC95%)
Excluídos	148	84 (75–90)	74 (60–85)	86 (77–92)	70 (55–82)
Incluídos como fatores de risco identificados	157	85 (77–91)	71 (57–83)	85 (77–92)	70 (55–82)

VPP: valor preditivo positivo; VPN: valor preditivo negativo; IC95%: intervalo de confiança de 95%.

criança, a fim de determinar se a triagem deveria ter motivado um encaminhamento para um oftalmologista ou se a criança deveria ter passado no teste de triagem.

A visão desempenha um papel importante no desenvolvimento global da criança. A maturação visual nos primeiros anos de vida é crucial para a formação das conexões neurais permanentes das vias oftalmológicas. A detecção precoce e o tratamento das condições oculares que podem impactar a maturação das funções visuais são importantes para o desenvolvimento adequado de habilidades motoras, leitura, desempenho social, qualidade de vida e autoestima.<sup>26,27</sup> Além disso, em áreas geográficas com maior prevalência de doenças oculares não tratadas, há prejuízo significativo nos indicadores socioeconômicos da população.<sup>28,29</sup> Com base nesses achados, a Sociedade Brasileira de Oftalmologia Pediátrica recomenda uma avaliação oftalmológica completa para todas as crianças em idade precoce. Apesar da importância dessa recomendação, sua implementação é limitada por diversos fatores, incluindo falta de acesso, principalmente em áreas remotas; insuficiência de oftalmologistas pediátricos treinados; e custos de saúde proibitivos. Como a tecnologia de triagem visual baseada em instrumentos permite expandir o número de crianças triadas para detecção de doenças oculares, o *photoscreening* tem sido recomendado pela Academia Americana de Pediatria (*American Academy of Pediatrics*) e pela Associação Americana de Oftalmologia Pediátrica e Estrabismo em crianças a partir dos 12 meses de idade.<sup>11,30</sup> O diagnóstico precoce pode permitir que o tratamento seja mais custo-efetivo, reduzindo o número de consultas médicas necessárias para o tratamento da ambliopia.<sup>10</sup> Mesmo que uma das principais vantagens do *photoscreening* seja a capacidade de triar crianças mais novas, que ainda não cooperam com o teste de acuidade visual, ele também desempenha um papel importante em crianças mais velhas, particularmente no cenário de triagem em campo de alto volume, como a deste estudo, onde medidas rápidas e eficientes são necessárias. Com *photoscreening*, ambos os olhos são testados simultaneamente em apenas alguns segundos, exigindo o mínimo de cooperação da criança. Medidas confiáveis são obtidas em crianças a partir dos 12 meses de idade. Uma vez que não depende de respostas comportamentais, permite a triagem também em crianças mais velhas não-verbais com atrasos de desenvolvimento ou dificuldades de aprendizagem, que são

incapazes de cooperar com a acuidade visual baseada em optotipos. Os *photoscreeners* também são vantajosos no cenário de serviços pediátricos movimentados, onde os testes de acuidade visual, mesmo em crianças mais velhas, podem ser desafiadores e consumir tempo. Além disso, os *photoscreeners* também são capazes de detectar outras anormalidades além da ambliopia, incluindo catarata, alterações pupilares e opacidades de córnea em crianças de todas as idades.<sup>10,11</sup> O custo dos instrumentos de triagem ainda pode ser um fator limitante em alguns serviços. Os *smartphones* hoje em dia são ferramentas presentes em qualquer lugar e relativamente de baixo custo. Uma plataforma de *photoscreening* usando um *smartphone* com uma capa concentradora de *flash* pode ser usada por pediatras para realizar triagem visual em todas as visitas anuais de puericultura a partir dos 12 meses de idade. É um aplicativo fácil de usar com uma curva de aprendizado rápida de aproximadamente 4 a 5 pacientes.<sup>25</sup> Para reunir dados comparativos adicionais, estudos futuros são necessários, incluindo diferentes instrumentos. No entanto, uma plataforma de *photoscreening* no *smartphone* parece ser uma alternativa promissora com boa relação custo-benefício, que pode ajudar pediatras em todo o mundo e minimizar os obstáculos à triagem visual e detecção da ambliopia.

## Financiamento

O estudo não recebeu financiamento.

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Contribuição dos autores

*Desenho do estudo:* Debert I, Costa DR, Falabretti JG. *Coleta de dados:* Costa DR, Falabretti JG, Debert I. *Análise de dados:* Costa DR, Debert I. *Redação do manuscrito:* Debert I, Costa DR, Susanna Junior R, Polati M. *Revisão do manuscrito:* Polati M, Debert I, Susanna Junior R, Costa DR. *Supervisão do estudo:* Susanna Junior R, Polati M, Debert I.

## Declaração

O banco de dados que deu origem ao artigo está disponível com o autor correspondente.

## REFERÊNCIAS

- Holmes JM, Clarke MP. Amblyopia. *Lancet*. 2006;367:1343-51. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68581-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68581-4)
- Bechara SJ, Kara-José N. Detection and treatment of amblyopic patients in the city of São Paulo, Brazil. *Rev Saude Publica*. 1987;21:326-30. <https://doi.org/10.1590/S0034-89101987000400006>
- Von Noorden GK. Factors involved in the production of amblyopia. *Br J Ophthalmol*. 1974;58:158-64. <https://doi.org/10.1136/bjo.58.3.158>
- Hunter DG, Shah AS, Sau S, Nassif D, Guyton DL. Automated detection of ocular alignment with binocular retinal birefringence scanning. *Appl Opt*. 2003;42:3047-53. <https://doi.org/10.1364/ao.42.003047>

5. Morad Y, Werker E, Nemet P. Visual acuity tests using chart, line, and single optotype in healthy and amblyopic children. *J AAPOS*. 1999;3:94-7. [https://doi.org/10.1016/s1091-8531\(99\)70077-7](https://doi.org/10.1016/s1091-8531(99)70077-7)
6. Schmidt P, Maguire M, Dobson V, Quinn G, Ciner E, Cyert L, et al. Comparison of preschool vision screening tests as administered by licensed eye care professionals in the Vision in Preschoolers Study. *Ophthalmology*. 2004;111:637-50. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2004.01.022>
7. Holmes JM, Beck RW, Repka MX, Leske DA, Kraker RT, Blair RC, et al. The amblyopia treatment study visual acuity testing protocol. *Arch Ophthalmol*. 2001;119:1345-53. <https://doi.org/10.1001/archophth.119.9.1345>
8. Kirk VG, Clausen MM, Armitage MD, Arnold RW. Preverbal photoscreening for amblyogenic factors and outcomes in amblyopia treatment: early objective screening and visual acuities. *Arch Ophthalmol*. 2008;126:489-92. <https://doi.org/10.1001/archophth.126.4.489>
9. Arnold RW, Stark L, Leman R, Arnold KK, Armitage MD. Tent photoscreening and patched HOTV visual acuity by school nurses: validation of the ASD-ABCD protocol. *Binocul Vis Strabismus Q*. 2008;23:83-94.
10. Donahue SP, Arthur B, Neely DE, Arnold RW, Silbert D, Ruben JB, et al. Guidelines for automated preschool vision screening: a 10-year, evidence-based update. *J AAPOS*. 2013;17:4-8. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2012.09.012>
11. Miller JM, Lessin HR, American Academy of Pediatrics Section on Ophthalmology; Committee on Practice and Ambulatory Medicine; American Academy of Ophthalmology; American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus. Instrument-based pediatric vision screening policy statement. *Pediatrics*. 2012;130:983-6. <https://doi.org/10.1542/peds.2012-2548>
12. Arnold RW, O'Neil JW, Cooper KL, Silbert DI, Donahue SP. Evaluation of a smartphone photoscreening app to detect refractive amblyopia risk factors in children aged 1-6 years. *Clin Ophthalmol*. 2018;12:1533-7. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S171935>
13. Arnold RW, Arnold AW, Hunt-Smith TT, Grendahl RL, Winkle RK. The positive predictive value of smartphone photoscreening in pediatric practices. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 2018;55:393-6. <https://doi.org/10.3928/01913913-20180710-01>
14. Peterseim MM, Rhodes RS, Patel RN, Wilson ME, Edmondson LE, Logan SA, et al. Effectiveness of the GoCheck Kids vision screener in detecting amblyopia risk factors. *Am J Ophthalmol*. 2018;187:87-91. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.12.020>
15. Martin SJ, Htoo HE, Hser N, Arnold RW. Performance of two photoscreeners enhanced by protective cases. *Clin Ophthalmol*. 2020;14:1427-35. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S251451>
16. Law MX, Pimentel MF, Oldenburg CE, Campomanes AG. Positive predictive value and screening performance of GoCheck Kids in a primary care university clinic. *J AAPOS*. 2020;24:17. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2019.11.006>
17. Donahue SP, Baker CN, Committee on Practice and Ambulatory Medicine, American Academy of Pediatrics; Section on Ophthalmology, American Academy of Pediatrics; American Association of Certified Orthoptists; American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus; American Academy of Ophthalmology. Procedures for the evaluation of the visual system by pediatricians. *Pediatrics*. 2016;137:1-9. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-3597>
18. Holmes JM, Lazar EL, Melia BM, Astle WF, Dagi LR, Donahue SP, et al. Effect of age on response to amblyopia treatment in children. *Arch Ophthalmol*. 2011;129:1451-7. <https://doi.org/10.1001/archophthol.2011.179>
19. Silbert DI, Matta NS, Ely AL. Comparison of SureSight autorefractor and plusoptix A09 photoscreener for vision screening in rural Honduras. *J AAPOS*. 2014;18:42-4. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2013.09.006>
20. Silverstein E, Donahue SP. Preschool vision screening: where we have been and where we are going. *Am J Ophthalmol*. 2018;194:xviii-xxiii. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2018.07.022>
21. Kirk S, Armitage MD, Dunn S, Arnold RW. Calibration and validation of the 2WIN photoscreener compared to the Plusoptix S12 and the SPOT. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 2014;51:289-92. <https://doi.org/10.3928/01913913-20140701-01>
22. Silbert DI, Arnold RW, Matta NS. Comparison of the iScreen and the MTI photoscreeners for the detection of amblyopia risk factors in children. *J AAPOS*. 2013;17:34-7. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2012.09.015>
23. Sanchez I, Ortiz-Toquero S, Martin R, Juan V. Advantages, limitations, and diagnostic accuracy of photoscreeners in early detection of amblyopia: a review. *Clin Ophthalmol*. 2016;10:1365-73. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S93714>
24. Silverstein E, McElhinny ER. Traditional and instrument-based vision screening in third-grade students. *J AAPOS*. 2020;24:232. e1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2020.04.013>
25. Walker M, Duvall A, Daniels M, Doan M, Edmondson LE, Cheeseman EW, et al. Effectiveness of the iPhone GoCheck Kids smartphone vision screener in detecting amblyopia risk factors. *J AAPOS*. 2020;24:16. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2019.10.007>
26. Birch EE, Castañeda YS, Cheng-Patel CS, Morale SE, Kelly KR, Beauchamp CL, et al. Self-perception of school-aged children with amblyopia and its association with reading speed and motor skills. *JAMA Ophthalmol*. 2019;137:167-74. <https://doi.org/10.1001/jamaophthol.2018.5527>
27. Hamm LM, Black J, Dai S, Thompson B. Global processing in amblyopia: a review. *Front Psychol*. 2014;5:583. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00583>
28. Temporini ER, Kara-José N. Prevention levels on ophthalmological problems: research proposals. *Arq Bras Oftalmol*. 1995;58:189-92. <https://doi.org/10.5935/0004-2749.19950064.1>
29. Flaxman SR, Bourne RR, Resnikoff S, Ackland P, Braithwaite T, Cicinelli MV, et al. Global causes of blindness and distance vision impairment 1990-2020: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Glob Heal*. 2017;5:e1221-34. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30393-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30393-5)
30. Donahue SP, Nixon CN, American Academy of Pediatrics, American Academy of Pediatrics, American Academy of Ophthalmology, American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus; et al. Visual system assessment in infants, children, and young adults by pediatricians. *Pediatrics*. 2016;137:28-30. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-3596>