

Sentido cromático: tipos de defeitos e testes de avaliação clínica

Chromatic sense: types of defects and clinical evaluation tests

Lígia Fernanda Bruni¹
Antonio Augusto Velasco e Cruz²

RESUMO

A avaliação do senso cromático tem grande valor na clínica oftalmológica, tanto para diagnóstico dos defeitos congênitos (daltonismo), como para diagnóstico e acompanhamento dos defeitos adquiridos. Diversos testes clínicos podem ser aplicados para esse fim. Porém, é necessário conhecermos a proposta e a sensibilidade de cada um deles, pois existem grandes variações de resultados, dependendo da doença que se procura diagnosticar, se congênita ou adquirida. Buscamos com este trabalho revisar os tipos de defeitos da sensibilidade cromática e fornecer informações sobre os principais testes utilizados, bem como sua melhor aplicação. Enfatizamos, ainda, a importância da padronização da iluminação do ambiente onde são aplicados esses testes.

Descritores: Defeitos da visão cromática; Luz; Percepção de cores; Testes de percepção de cores/história; Testes visuais; Olho/fisiopatologia

HISTÓRICO

O interesse e a curiosidade sobre o fenômeno da visão de cores remontam à Antiguidade, com especulações feitas por vários filósofos e cientistas.

Aristóteles, já demonstrando seu interesse pelo assunto, afirmava que as cores principais eram sete e que as demais eram resultantes da mistura das originais⁽¹⁾.

No século XVI*, Leonardo da Vinci foi o responsável pela primeira visão do conjunto de dados que levariam à criação de uma teoria das cores. Postumamente e baseado em seus escritos, foi publicado "O tratado da pintura e da paisagem" onde foi demonstrado experimentalmente que a cor branca é composta pela união das demais⁽²⁾.

No século XVIII** (1704), Sir Isaac Newton publica o livro "Óptica: um tratado sobre a reflexão, a refração e as cores da luz".

A maior contribuição dessa obra foi demonstrar o mecanismo de coloração dos corpos através da absorção e reflexão dos raios luminosos, além de introduzir o conceito de comprimento de onda, propriedade dos raios simples que permite defini-los quantitativamente⁽³⁾. A maior contribuição dessa obra foi demonstrar o mecanismo de coloração dos corpos através da absorção e reflexão dos raios luminosos, além de introduzir o conceito de comprimento de onda, propriedade dos raios simples que permite defini-los quantitativamente⁽³⁾.

¹ Pós-graduanda do Departamento de Oftalmologia, Otorrinolaringologia e Cirurgia de Cabeça e Pescoço da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo - USP - São Paulo (SP) - Brasil.

² Professor Titular do Departamento de Oftalmologia, Otorrinolaringologia e Cirurgia de Cabeça e Pescoço da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP - São Paulo (SP) - Brasil.

Endereço para correspondência: Departamento de Oftalmologia, Otorrinolaringologia e Cirurgia de Cabeça e Pescoço, HCFMRP (USP), Av. Bandeirantes, 3900 - Ribeirão Preto (SP) CEP 14048-900
E-mail: lfbruni@uol.com.br
aavecruz@fmrp.usp.br

Recebido para publicação em 19.09.2005
Última versão recebida em 08.02.2006
Aprovação em 11.02.2006

*Leonardo da Vinci (século XVI) apud⁽²⁾

**Sir Isaac Newton (1794) apud⁽³⁾

Johann Wolfgang von Goethe*, em 1820, publica seu “Esboço de uma teoria das cores”, trabalho esse que foi a base para a moderna divisão dos campos que estudam as cores: óptica fisiológica, óptica física e óptica físico-química⁽⁴⁾.

A teoria tricromática, proposta no início do século XIX** por Young e Helmholtz, ambos fisiologistas, é a base da óptica fisiológica e mostra que o olho humano possui três tipos diferentes de receptores visuais, os cones, sensíveis às luzes vermelha, verde e azul⁽⁵⁾. No entanto, a teoria tricromática não conseguia explicar a variedade de fenômenos cromáticos encontrados na natureza. Em particular, ela falhava ao explicar por que certas combinações de cores cancelavam uma às outras e por que com outras combinações isso não ocorria. Assim, o fisiologista alemão Ewald Hering***, em 1878, propôs a teoria da oponência das cores, que sugeria a existência de três canais de cores oponentes, mutuamente inibitórios: vermelho-verde, azul-amarelo e branco-preto⁽⁶⁾.

Essas duas teorias formaram a base do entendimento da visão das cores. Desde então, o estudo da sensibilidade cromática vem crescendo ao longo dos anos, com descobertas e avanços importantes.

Diversos compêndios têm tratado da ciência da visão das cores. Para um estudo mais profundo sobre o assunto, recomendando os trabalhos de Pokorny et al. (1979), Fletcher, Volke (1985) e Kaiser, Boynton (1986), entre outros^(1,7-8).

A avaliação da sensibilidade cromática é valiosa para entendermos como se processa esse fenômeno nos indivíduos normais e, principalmente, nos que apresentam alterações da sensibilidade cromática. A perfeita percepção das cores faz parte da interação do indivíduo com seu ambiente e com seu meio social.

PROCESSAMENTO DA VISÃO DE CORES

Podemos dizer que a percepção das cores é o resultado de uma sensação visual, causada pela absorção de fótons pelos pigmentos dos cones da retina⁽⁹⁾.

Uma determinada cor, ou comprimento de onda, é definido através de três características básicas:

Tom ou Matiz: é o comprimento de onda percebido (absorvido) pelos cones, que nos permite saber qual é a cor que estamos vendo.

Saturação: refere-se à pureza da cor. Está relacionada com a quantidade de luz branca adicionada a um determinado matiz, se podendo distinguir entre vinte diferentes níveis de saturação para matizes relacionados aos comprimentos de onda curtos e longos, enquanto que em matizes relacionados a comprimentos de onda médios podem ser distinguidos somente seis níveis de saturação.

Brilho: refere-se à quantidade de luz que um objeto emite, ou seja, número de fótons que atingem o olho. É nossa inter-

pretação subjetiva de luminância, que é uma propriedade acromática quantitativa da cor.

O olho humano é capaz de captar fótons com comprimento de onda entre 380 e 760 nanômetros (nm) e converte essa energia em impulso elétrico, que será levado ao cérebro e interpretado⁽¹⁰⁾.

Os receptores dos cones, localizados nas camadas mais internas da retina, recebem a luz que ultrapassou as camadas da retina e originam o impulso elétrico, que, neste caso, é uma hiperpolarização⁽⁸⁾. Esse impulso é então passado para as células bipolares e ganglionares, sendo modulados pelas células horizontais e amácrinas.

Existem cerca de 5 milhões de cones e 92 milhões de bastonetes na retina humana, enquanto o nervo óptico possui cerca de 1 milhão de fibras (que são os axônios das células ganglionares). Isso mostra que uma célula ganglionar reflete a atividade de várias centenas de fotorreceptores⁽¹¹⁾.

Os axônios das células ganglionares convergem na estrutura denominada nervo óptico, que é, na verdade, um trato de fibras que funciona como uma extensão externa do cérebro. Suas fibras são envolvidas pelas três meninges, ao contrário de qualquer outro nervo periférico⁽¹²⁾.

No quiasma óptico, cerca de 53% dessas fibras sofrem decussação e seguem pelo trato óptico até o núcleo geniculado lateral. As fibras provenientes da parte nasal da retina cruzam no quiasma, seguindo pelo trato óptico contralateral até a área visual oposta do cérebro. As fibras provenientes da porção temporal da retina permanecem ipsilateralmente⁽¹³⁾.

No núcleo geniculado lateral as fibras vão seguir pelo sistema magnocelular, que informa sobre movimento de um objeto e é acromático e pelo sistema parvocelular, que fornece informações de alta resolução sobre a forma dos objetos, baseando-se nos seus contrastes cromáticos, proporcionando uma análise detalhada de um objeto imóvel⁽¹⁴⁾.

Do núcleo geniculado lateral, a via óptica tem continuidade nas radiações ópticas, que irão fazer a conexão com o córtex visual, nas áreas 17, 18 e 19 de Brodmann⁽¹⁵⁾.

No córtex estriado (área 17), encontramos células responsáveis pela noção de orientação (movimento e direção) e no córtex pré-estriado (áreas 18 e 19), além dessas informações, existem também as células que codificam a visão cromática⁽¹⁶⁾.

O processamento cromático é feito por três canais principais, sendo um canal de luminância e outros dois canais oponentes: um canal vermelho-verde, no qual a informação dos cones sensíveis ao vermelho opera em oponência aos cones sensíveis ao verde e um canal azul-amarelo (que é a somatória das ativações do canal vermelho-verde).

Tipos de Cones

Os cones possuem funções específicas, controlando a visão diurna ou fotópica. Possuem uma certa variedade de pigmentos fotossensíveis, cada um contendo um espectro de sensibilidade diferente, com comprimentos de ondas aos quais respondem de forma máxima, o que proporciona, assim, a visão das cores.

*Von Goethe JW. apud⁽⁴⁾

**Young e Helmholtz (século XIX) apud⁽⁵⁾

***Ewald Hering (1878) apud⁽⁶⁾

Os cones são classificados de acordo com a sua sensibilidade às diferentes faixas de comprimentos de onda: longos, médios e curtos. Os cones sensíveis ao vermelho são estimulados por comprimentos de onda longos, da ordem de 570 nm ("long wavelength cones"). Os cones sensíveis ao verde são estimulados por comprimentos de onda na faixa de 540 nm, médios ("middle wavelength cones"). Por último, os cones sensíveis ao azul ("short wavelength cones") são estimulados por comprimentos de onda curtos, da ordem de 440 nm⁽⁹⁾.

Distribuem-se, preferencialmente, na região central da retina, e estima-se que existam, em média, 199.000 cones por mm² na fóvea⁽¹¹⁾. À medida que se distanciam da fóvea, há uma queda brusca do número de cones.

Dependendo da região retiniana em que se encontram, os cones apresentam variações em sua estrutura, sendo mais delgados na região foveal e à medida que se localizam mais periféricamente, vão adquirindo formas mais arredondadas⁽¹⁷⁾. Ainda na fóvea, se verifica que os cones não têm ligação com outros fotorreceptores, como ocorre nas porções mais periféricas. Constituem uma via independente, com uma célula bipolar, o que também se continua com a célula ganglionar correspondente. Essa via exclusiva é a base anatômica da excelente acuidade visual que ocorre na região foveal.

TIPOS DE DEFEITOS DA SENSIBILIDADE CROMÁTICA

Os defeitos da sensibilidade cromática podem ser divididos em duas grandes classes: defeitos congênitos e defeitos adquiridos.

O entendimento e a diferenciação destas duas condições é fundamental para que o examinador tenha condições de planejar o acompanhamento e a terapêutica do seu paciente.

Existem algumas diferenças básicas entre elas⁽¹⁸⁾, expostas, resumidamente, no quadro 1.

Defeitos congênitos

O primeiro estudo sério feito sobre as alterações congênitas da visão de cores foi o do cientista inglês John Dalton*, em 1798, baseando-se na sua própria dificuldade para ver as cores, pois era portador de protanopia⁽¹⁹⁾. Por isso a deficiência congênita para visão de cores é popularmente conhecida como daltonismo.

Tipos de defeitos congênitos e nomenclatura

A) Tricromatismo normal: quando se percebe a cor branca através de estímulos dos três tipos de cones, vermelho, verde e azul.

B) Tricromatismo anômalo: percebe a luz branca através de proporções anômalas de vermelho, verde e azul.

C) Dicromatismo: percebe branco com estímulos de apenas 2 tipos diferentes de cones.

D) Monocromatismo: percebe branco com qualquer um dos estímulos.

Por convenção, os prefixos gregos para primeiro, segundo e terceiro "protos", "deuteros" e "tritos" são usados para determinar as cores vermelha, verde e azul, respectivamente, ao se nomearem os defeitos de visão de cores⁽¹⁰⁾.

O tricromatismo anômalo decorre de uma alteração de um dos pigmentos dos cones, particularmente nos casos de protanomalia e deuteranomalia.

Os mecanismos que levam à tritanomia são pouco conhecidos, particularmente pela raridade com que essa alteração é encontrada⁽²⁰⁾.

O dicromatismo pode ainda ser desdobrado em: protanopia, que é a ausência de fotopigmentos eritrolábeis (sensíveis à luz vermelha), deuteranopia, que é a ausência de fotopigmentos clorolábeis (sensíveis à luz verde) e, finalmente, tritanopia, muito rara, é a ausência de fotopigmentos cianolábeis (sensíveis à luz azul).

No quadro 2, exibimos uma proporção estimada dos defeitos para visão de cores na população. Esses dados são referentes à população da Inglaterra, uma vez que não dispomos de levantamentos semelhantes na população brasileira⁽⁸⁾.

Defeitos adquiridos

Os defeitos adquiridos podem ser atribuídos a diferentes causas: alterações nos filtros pré-receptores (cristalino, pigmentos maculares, pupila), redução da densidade óptica dos

Quadro 1. Diferenças clínicas entre os defeitos congênitos e os defeitos adquiridos da sensibilidade cromática

Congênitas	Adquiridas
Presentes ao nascimento	Início após o nascimento
Alta prevalência em homens	Igual prevalência em homens e mulheres
Tipo e severidade do defeito são estáveis	Tipo e severidade do defeito podem variar
O defeito pode ser classificado precisamente	Podem ser difíceis de classificar. Geralmente são inespecíficos
Ambos os olhos são igualmente afetados	Diferenças de tipo e severidade entre OD e OE
Acuidade visual é inalterada (exceto no monocromatismo) e o campo visual é normal	Acuidade visual frequentemente reduzida, podendo ser acompanhada de redução do campo visual
Predominam defeitos	Predominam defeitos tritan
	protan e deutran

Quadro 2. Prevalência dos tipos de defeitos congênitos na população masculina e feminina

Condição	Homens (%)	Mulheres (%)
Protanopia	1	0,02
Protanomalia	1,5	0,03
Deuteranopia	1	0,01
Deuteranomalia	5	0,40
Tritanopia/tritanomia	Muito raras	Muito raras

*Dalton J (1798) apud⁽¹⁹⁾

fotopigmentos dos cones (vermelhos, verdes ou azuis), perda desequilibrada dos tipos de cones e alterações nos níveis de processamento pós-receptores⁽²¹⁾.

Classificação dos defeitos adquiridos

Várias classificações dos defeitos adquiridos foram propostas⁽²²⁾, porém, a mais usada é a de Verriest⁽²³⁾, que subdivide os defeitos em 3 tipos:

Tipo I: defeito vermelho-verde, com perda da sensibilidade aos comprimentos de onda longos, podendo evoluir da escotopização a acromatopsia, ocorrendo em processos distróficos da mácula envolvendo perda da função dos cones.

Tipo II: defeito vermelho-verde, sem perda da sensibilidade aos comprimentos de onda longos, acompanhado por uma perda menos pronunciada da sensibilidade azul-verde e ocorre em doenças que afetam a transmissão de sinais do nervo óptico.

Tipo III: defeito azul-amarelo, às vezes acompanhado de por uma deficiência vermelho-verde menos pronunciada.

Marré propôs a última classificação, baseando-se na análise quantitativa dos três mecanismos dos cones, considerando as deficiências ao nível do receptor e não nas interações dos sinais oponentes e postula que: os defeitos vermelho-verde (geralmente associados com as vias ópticas, desde as células ganglionares até o córtex), tendem a ser progressivos, podem envolver todas as cores, mas o eixo vermelho-verde estará mais acometido; os defeitos azul-amarelo (usualmente originados na retina) tendem a preservar mais o eixo vermelho-verde do que o azul-amarelo⁽²⁴⁻²⁶⁾. Podem ser combinados com o primeiro tipo, à medida que progridem para a perda total da percepção das cores. Na verdade, é uma referência à Lei de Köllner⁽²⁷⁾.

Em 1912*, Köllner, um cientista alemão, formulou uma lei que postulava que as deficiências cromáticas do tipo azul-amarelo eram resultado de doenças da retina, enquanto que deficiências do tipo vermelho-verde eram relacionadas a alterações do nervo óptico. Com o tempo, várias pesquisas foram demonstrando que existem evidentes exceções a essa lei, sendo o glaucoma uma importante exceção⁽²⁸⁻³⁰⁾.

Outras denominações podem ser aplicadas aos defeitos adquiridos⁽⁸⁾:

- Acromatopsia: seria sinônimo de monocromatismo, ou, ausência de percepção de cores.
- Cromatopsia: quando há uma distorção da percepção cromática, havendo mudança na sensação da cor percebida, podendo levar a xantopsias, eritropsias, cianopsias e cloropsias, distorções cromáticas que tornam os objetos amarelados, avermelhados, azulados ou esverdeados, respectivamente.
- Discromatopsia: percepção anormal das cores, mais aplicável aos distúrbios adquiridos do que aos congênitos.
- Agnosias cromáticas: alterações de percepção resultantes de danos corticais cerebrais.

AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE CROMÁTICA

Nos defeitos de visão de cores, podem estar afetados os três atributos que caracterizam a sensação de cor: tom, saturação e brilho, em graus variáveis⁽¹⁰⁾.

Os testes de visão de cores são usados para os seguintes fins:

- triagem;
- caracterizar o tipo de defeito;
- diferenciar entre defeito congênito e adquirido;
- avaliar a severidade do defeito;
- para orientar testes vocacionais.

Os testes para visão de cores obedecem à padronização de reprodução de cores proposta pela Comissão Internacional de Iluminação ("Comission Internationale de l'Éclairage,- CIE"), de 1932. Essa comissão adotou um método colorimétrico baseado nas especificações de cores num sistema cartesiano de três coordenadas, o chamado Diagrama de Cromaticidade ou Espaço de Cores da CIE de 1931⁽³¹⁾.

O diagnóstico e a classificação de um defeito da sensibilidade cromática é uma tarefa longa e exige experiência.

Estima-se que existam cerca de 200 métodos desenvolvidos ao longo dos anos, mas, atualmente, apenas cerca de 20 testes são comumente encontrados^(8,32). Daremos ênfase aos testes mais usados e disponíveis comercialmente para a avaliação clínica da sensibilidade cromática.

Esses testes são disponibilizados de diferentes formas, sendo as principais as pranchas pseudoisocromáticas, os testes de arranjo ou ordenamento de matizes, de equalização, de nomeação e os computadorizados, entre outros.

Não existe um teste de visão de cores ideal, aplicável para todas as propostas, que forneça diagnóstico exato. Assim, o uso de dois ou três testes independentes fornece um resultado mais confiável, embora isso nem sempre seja possível.

A avaliação do senso cromático deve ser feita sempre de um olho por vez, pois podem ocorrer diferenças de desempenho entre os olhos quando se pesquisam alterações adquiridas, principalmente.

Iluminação para testes de visão de cores

A avaliação da sensibilidade cromática só tem valor científico se realizada sob condições de iluminação padronizadas. A CIE padronizou, em 1931, os tipos básicos de fontes luminosas, chamadas iluminantes A, B, C, D55 e D65^(8,31). Essa padronização é baseada na temperatura de cor (ou cromaticidade) de cada uma das diferentes fontes luminosas. Temperatura de cor é a medida científica do equilíbrio dos comprimentos de onda encontrados em qualquer luz "branca". Originalmente, o termo é utilizado para descrever a "brancura" da luz da lâmpada incandescente. A temperatura da cor está diretamente relacionada com a temperatura física do filamento nas lâmpadas incandescentes, de forma que a escala de temperatura Kelvin (K) é utilizada para descrever a temperatura da cor. A cromaticidade é expressa em Kelvins (K) ou como coordenadas "x" e "y" no Diagrama de Cromaticidade da CIE.

*Kollner (1912) apud⁽²⁸⁻³⁰⁾

Preconiza-se o uso da lâmpada de Macbeth (GretagMacbeth Corporation), que proporciona uma temperatura de cor de 6.740° Kelvin, que corresponde à fonte iluminante C, representativa da luz do dia, de acordo com a padronização da CIE⁽¹⁰⁾. Porém, recentemente essa fonte tornou-se de difícil obtenção alto custo⁽³³⁾, o que levou os pesquisadores a utilizarem uma alternativa que simula as condições de iluminação proporcionadas por ela: uma de fonte de luz incandescente (lâmpada de 100 watts), com óculos de filtros azuis, produzidos pela própria Macbeth, fornecendo uma iluminância (medida da densidade de fluxo luminoso incidente em uma superfície padronizada) de 500 lux na superfície de teste⁽³⁴⁾.

Pranchas pseudoisocromáticas (PIC)

Stilling* em 1878, foi o primeiro a publicar uma série de pranchas pseudoisocromáticas⁽¹⁰⁾.

Existem diversas variantes destes testes, nos quais observamos, geralmente, um objeto delineado por uma diferença de cores, com um fundo de igual reflectância de luminosidade, para evitar vestígios não coloridos. O objeto pode ser um número, uma letra, um padrão a ser traçado, um símbolo ou um optotipo, como o C de Landolt ou o E para analfabetos.

As pranchas pseudoisocromáticas (PIC) podem se apresentar de diferentes formas, com diferentes propósitos⁽³⁵⁾.

Pranchas de demonstração: neste tipo de prancha a figura é apresentada com uma luminosidade de contraste significativa em relação ao fundo, assim, a sensibilidade cromática não é necessária para uma resposta correta.

Pranchas de desaparecimento (ou mascaramento): aqui, o objeto é construído com uma diferença de cores em relação ao fundo, porém, se sua cor estiver próxima ou no eixo de confusão de um indivíduo com visão dicromática, ele não será visível.

Pranchas combinadas: esse tipo de prancha possui dois objetos definidos, um do tipo demonstrativo e outro mascarado, com os das pranchas de desaparecimento. Assim, um indivíduo normal conseguirá ver ambos, enquanto que um dicromata verá apenas o objeto com diferença de contraste, ou, do tipo demonstrativo.

Pranchas diagnósticas: essas pranchas são basicamente do tipo de desaparecimento (mascaradas), mas, com duas figuras, uma para ser confundida por protanômalos e outra para ser confundida por deuteranômalos. As cores escolhidas fazem parte da porção do círculo de cores onde as diferenças entre protans e deutans são mais pronunciadas.

Pranchas quantitativas: aqui, as pranchas são ordenadas em séries onde as cores vão se diferenciando progressivamente, com o objetivo de quantificar a severidade do defeito.

Pranchas escondidas: são desenvolvidas para serem identificadas somente por indivíduos com deficiência da visão cromática. Nesse caso, as figuras são construídas com cores pertencentes a um eixo de confusão, enquanto que o fundo é construído com cores pertencentes a outro eixo de confusão,

tornando possível sua identificação pelos dicromatas. Já um indivíduo normal vê apenas uma variedade de cores diferentes, sem diferenciar qualquer figura do fundo.

Teste de Ishihara

Sem dúvida, é o teste de pranchas mais conhecido e usado no mundo. Foi publicado pela primeira vez em 1906 e foi reproduzido em várias edições, ao longo dos anos. Possui pranchas de demonstração, mascaradas, escondidas e diagnósticas. As edições mais usadas possuem números e linhas traçadas como objetos a serem identificados. Atualmente, estão disponíveis as versões de 24 e de 38 pranchas. Através dos anos, têm sido feitas várias avaliações sobre a eficácia do teste de Ishihara⁽³⁵⁾, que passou por aperfeiçoamentos, graças às modernas técnicas de diferenciação e reprodução de cores. Estudos mostram que ele ainda continua sendo o exame mais eficaz (“gold standard”) para uma rápida identificação das deficiências congênitas para visão de cores⁽³⁶⁻³⁸⁾. Apesar de ser desenvolvido para detecção e diagnóstico das alterações congênitas da visão de cores, o teste de Ishihara também pode ser usado na detecção de defeitos adquiridos da visão de cores⁽³⁹⁻⁴⁰⁾. O teste de Ishihara contém também pranchas que visam diferenciar protanomalias de deuteranomalias. Não possui pranchas para identificação de tritanomalias congênitas, mas, pacientes com deficiências adquiridas severas tipo III de Verriest podem cometer erros semelhantes àqueles com deficiência vermelho-verde⁽⁴⁰⁾. Além disso, esse teste não consegue fornecer uma avaliação quantitativa da deficiência apresentada, pois não possui pranchas para mensuração da gravidade do defeito.

Pranchas Pseudoisocromáticas da American Optical Hardy-Rand-Rittler (AO-HRR)

Esse teste, atualmente publicado pela Richmond Products, tem como objetivo detectar deficiências congênitas do tipo protan, deutan, tritan e tetartan e estimar a severidade do defeito. O termo tetartan vem da suposta consideração de que possa haver um quarto tipo de defeito congênito, envolvendo um possível fotopigmento com absorção na região amarela do espectro⁽⁴¹⁾. As pranchas para detectar alterações do tipo tetartan são supérfluas. Esse teste já passou por quatro edições (1955, 1957, 1996 e 2002). A mais recente, revisada por Bailey e Neitz, está melhor ajustada às linhas de confusão e possui as pranchas de detecção de defeitos protan e deutan severos com menos saturação que a versão original⁽³⁵⁾. Essa foi uma estratégia usada para corrigir o fenômeno que ocorria com a versão original, onde pacientes dicromatas com deficiências severas dificilmente cometiam erros nas pranchas designadas para detectá-los⁽⁴²⁾.

A principal crítica ao teste AO-HRR é a sua falha em diagnosticar deficiências vermelho-verde com acurácia, pois pessoas com sensibilidade cromática normal podem ser classificadas como deficientes, fornecendo resultados falso-positivos. O contrário também pode ocorrer, embora, com menor frequência⁽⁴⁰⁾.

*Stilling (1878) apud⁽¹⁰⁾

Porém, suas vantagens fazem com que esse teste seja largamente usado, junto com outros testes destinados a triagens, como o Ishihara. Entre elas, podemos citar: a presença de pranchas destinadas à detecção de defeitos azul-amarelo, as quais raramente são encontradas nas outras PIC; os símbolos utilizados são fáceis de ensinar a crianças, analfabetos, ou a pessoas que tenham alfabetização com notações de estilos diferentes (chineses, árabes, etc.); é o teste do tipo PIC mais sensível para diferenciar e classificar os defeitos deutan e protan⁽³⁷⁾.

Pranchas Pseudoisocromáticas Standard (SPP)

Esse teste é publicado em dois volumes. O volume 1 é destinado a examinar pacientes com alterações congênitas da sensibilidade cromática. Contém pranchas de demonstração, combinação, de mascaramento e diagnósticas. Assim como o Ishihara, é adequado para deficiências do tipo vermelho-verde e não fornece avaliação quantitativa do defeito⁽⁴³⁻⁴⁴⁾.

O volume 2 foi desenvolvido para a detecção de defeitos adquiridos da sensibilidade cromática, com pranchas que testam defeitos vermelho-verde, azul-amarelo e escotópicos. Esse teste alcançou um grau de aceitação importante, sendo um dos mais usados nos estudos dos defeitos adquiridos da sensibilidade cromática⁽⁴⁵⁻⁴⁶⁾.

Outros testes de pranchas pseudoisocromáticas (PIC)

Dispomos de uma variedade de outros testes do tipo PIC, porém, eles não forneceram vantagens suficientes sobre os outros testes já mencionados, largamente utilizados. Nenhum deles superou o teste de Ishihara para "screening", o teste AO-HRR na escolha para diagnóstico quantitativo e o teste SPP Parte 2 para triar defeitos adquiridos⁽³⁵⁾.

Podemos citar o teste **CVTME (Colour Vision Testing Made Easy)**, desenvolvido especialmente para uso em crianças, devido à facilidade de identificação de seus símbolos^(35,47).

Como outras opções, temos: teste de **Dvorine**, produzido nos Estados Unidos em 1944 e atualizado em 1953, para defeitos vermelho-verde; teste **TMC- Tokyo Medical College**, produzido em 1954, com pranchas para detectar defeitos vermelho-verde e azul-amarelo; teste de **Farnsworth "F2"**, de 1955, que possui pranchas para detecção de tritanopia, mas foi muito usado para triagem dos defeitos vermelho-verde, tanto congênitos como adquiridos⁽⁸⁾.

Testes de arranjo ou de ordenamento de matizes

Teste de Farnsworth-Munsell 100 Hue (FM100)

Farnsworth desenvolveu seus testes de cores com papéis coloridos extraídos do livro de cores de Munsell, os quais diferem somente no tom ou matiz, tendo saturação e brilho constantes quando analisadas por indivíduos normais⁽⁴⁸⁾.

A grande vantagem do uso desse teste é que ele pode ser aplicado em indivíduos com deficiências congênitas ou adquiridas. Porém, seu uso no estudo das deficiências congênitas é limitado, pois nem sempre consegue classificar o defeito em protan ou deutan⁽⁴⁹⁾. O seu valor no estudo das deficiências adquiridas é notável, principalmente para efeito de segui-

mento. Outra aplicação importante do teste FM 100 Hue é promover a classificação de indivíduos com visão cromática normal em grupos que possuem discriminação cromática alta, média e baixa, fator extremamente importante para o desempenho profissional em alguns setores específicos, como nas indústrias têxteis e de tintas.

O teste FM 100 Hue possui 85 peças, divididas em 4 caixas de madeira. Cada caixa contém duas cores fixas de referência, no início e no fim da seqüência. As peças móveis (numeradas) são as que ficam entre as peças de referência e devem ser recolocadas na ordem correta, uma vez extraídas da caixa e misturadas entre si, ao iniciar-se o teste.

A divisão de cores das caixas é a seguinte:

Caixa 1: peças 85 a 21 (rosa, passa por alaranjado, até amarelo);

Caixa 2: peças 22 a 42 (amarelo a azul-esverdeado);

Caixa 3: peças 43 a 63 (azul-esverdeado a azul-púrpura);

Caixa 4: peças 64 a 84 (azul a púrpura-avermelhado, até rosa).

Farnsworth elaborou um método de avaliar o escore de erros, atribuindo um escore a cada cor, que é a soma da diferença absoluta entre o número de uma cor e os das cores colocadas ao lado dela. As cores colocadas na seqüência correta recebem o escore 2. Tomemos como exemplo uma seqüência de peças supostamente arranjadas por um paciente: 1, 2, 3, 5, 4, 8, 7, 6, 9. Para sabermos os escores de uma peça (escore parcial), devemos proceder da seguinte forma: para a peça 2 o escore é $(2-1) + (3-2) = 2$ (normal), ou seja, está colocada no lugar correto, entre as peças 1 e 3. Para a peça 8, o escore é $(8-4) + (8-7) = 5$, sendo o escore parcial de 3, pois subtraímos 2 que é o escore mínimo possível.

Os escores individuais das peças numeradas são, então, transferidos para um diagrama polar, onde a circunferência representa cada uma das 85 cores e o raio representa o total do número de erros para cada peça móvel. De acordo com padrões característicos do gráfico formado, pode ser possível classificar o indivíduo como portador de defeito do tipo tritan, deutan ou protan, ou como portador de baixa discriminação cromática sem padrão definido. Atualmente, dispomos de programas que permitem o lançamento da seqüência elaborada pelo paciente diretamente no computador, que fornecerá, entre outros dados, o gráfico polar, utilizando o método de análise desenvolvido por Vingrys⁽⁵⁰⁾.

Na figura 1, podemos ver exemplos dos gráficos polares construídos através do "software" que acompanha o teste.

O desempenho na realização desse teste é altamente dependente da idade, com melhor desempenho por volta da 2ª e 3ª décadas de vida. A partir daí, o desempenho cai progressivamente⁽⁵¹⁾. Nos dois extremos de idade, o escore de erros tende a ser maior, às vezes, mostrando um defeito do tipo tritan. Nos indivíduos idosos, isso pode estar relacionado à perda de transparência do cristalino, que se torna amarelado. Nos mais jovens, esse fato pode ser atribuído, entre outras coisas, à falta de atenção durante o exame.

É um teste valioso na prática clínica, porém, seu uso é limitado devido ao fato de ser um teste longo e que depende inteiramente da colaboração e do entendimento do paciente.

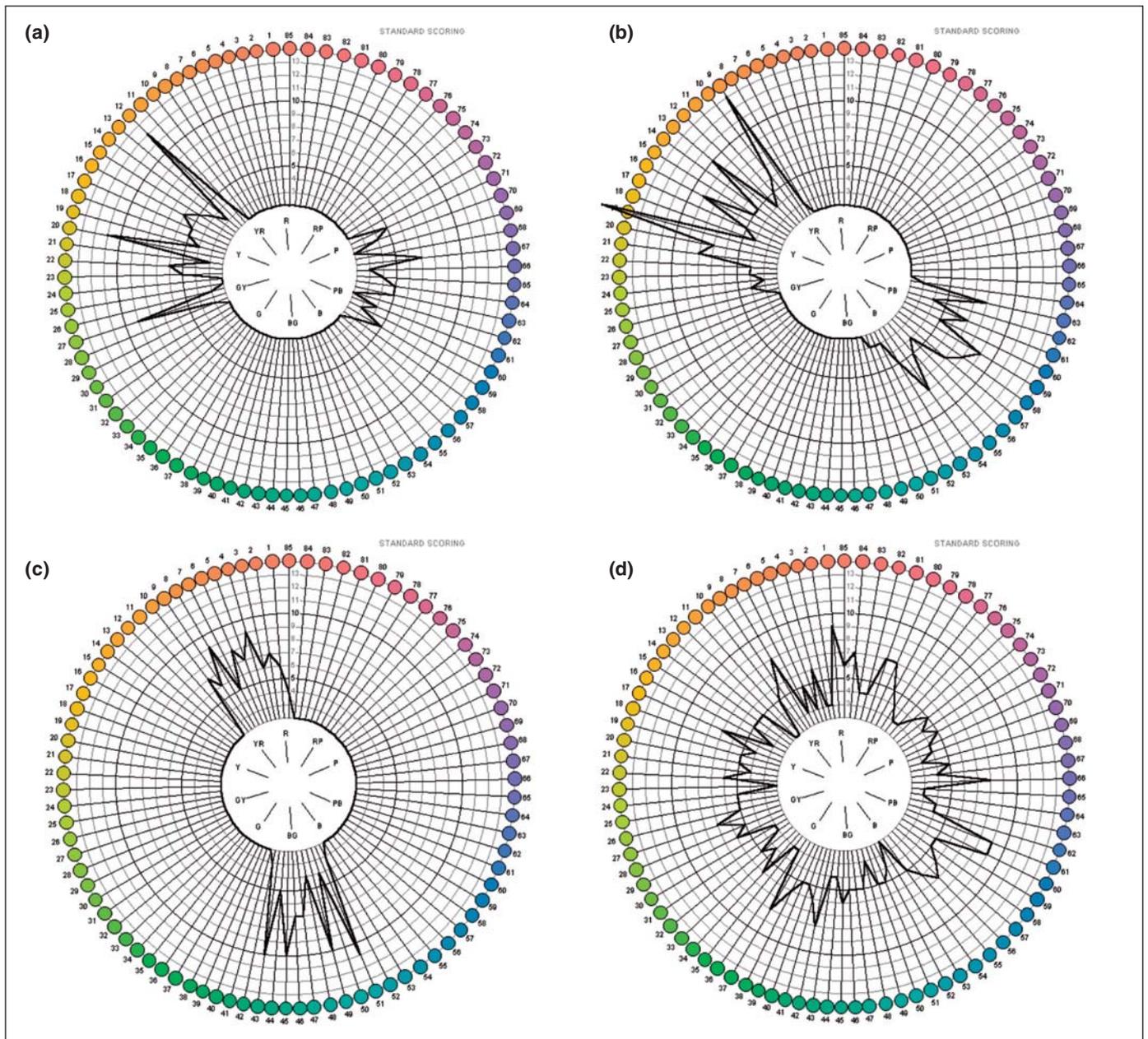


Figura 1 - Gráficos polares do teste de Farnsworth-Munsell 100-Hue mostrando defeitos da sensibilidade cromática dos tipos protan (a), deutan (b), tritan (c) e inespecífico (d)

Algumas tentativas de melhorar sua aplicação foram descritas. O trabalho de Nichols mostrou que o uso isolado da caixa 2 para acompanhamento de pacientes com neuropatias ópticas adquiridas tem sensibilidade e especificidade semelhantes ao teste inteiro⁽³⁴⁾.

Testes de Farnsworth-Munsell D-15 ou Panel D-15 e de Lanthony Desaturated D-15

Desenvolvido por Farnsworth, esse teste também utiliza cores do círculo de cores de Munsell, porém usando menos tons⁽⁵²⁾. Consiste numa caixa contendo uma peça colorida fixa,

no início da seqüência a ser reproduzida, e 15 peças coloridas móveis. O indivíduo testado é solicitado a arranjá-las na ordem correta. A interpretação é dada pela inspeção visual da seqüência montada.

O seu objetivo é diferenciar defeitos severos da visão cromática dos defeitos médios e dos indivíduos normais.

Juntamente com o teste de Ishihara, é um dos testes mais aplicados nas baterias de testes clínicos, sendo também largamente usado na avaliação de defeitos adquiridos da sensibilidade cromática⁽⁵³⁻⁵⁴⁾.

O teste de Lanthony D-15 Desaturated tem como objetivo

avaliar os indivíduos que conseguiram realizar o teste de Farnsworth-Munsell D-15 sem dificuldades. É esperado que esses indivíduos cometam erros nessa segunda avaliação, pois as peças desse teste possuem diferenças de cores menores que o primeiro. Também vem sendo muito usado no estudo das deficiências adquiridas da visão de cores⁽⁵⁴⁾.

Testes de equalização

Anomaloscópios

O anomaloscópio de Nagel* foi desenvolvido em 1907, com o objetivo de diferenciar deficiências do tipo deutan de protan, sendo considerado o teste mais sensível para esse fim. Baseia-se na equação de Rayleigh, que usou uma mistura de luzes espectrais de lítio e tório para mimetizar o espectro do sódio⁽⁵⁵⁾:

Vermelho + Verde = Amarelo

Em termos de comprimento de onda, o anomaloscópio de Nagel utiliza luz de 670,8 nm (vermelho) com luz de 546 nm (verde). Essa mistura de cores espectrais resulta no amarelo de comprimento de onda de 589,3 nm⁽⁸⁾.

O anomaloscópio de Nagel não está mais disponível comercialmente, porém, existem dois anomaloscópios equivalentes que podem ser encontrados atualmente: o de Neitz e o Oculus Heidelberg⁽³⁵⁾.

Os anomaloscópios permitem a classificação fiel das deficiências congênitas, diferenciando indivíduos com tricromatismo anômalo de normais e dicromatas de tricromatas anômalos, além de identificar tricromatismo anômalo severo.

Para o estudo das alterações adquiridas da visão cromática, utiliza-se, em adição à equação de Rayleigh, a equação de Moreland 2, incorporada ao aparelho Oculus Heidelberg⁽⁵⁶⁾.

Teste da City University (CUT)

Nesse teste são apresentadas dez pranchas, com 5 pontos coloridos cada.

O indivíduo testado é solicitado a escolher, entre os quatro pontos de cores diferentes, qual é o que mais se assemelha à cor do ponto que está no centro da figura. Um dos pontos seria a alternativa correta e os outros três são escolhidos de forma a se localizarem nos eixos de confusão de defeitos deutan, protan e tritan. Esse teste tem um grau de dificuldade semelhante ao teste de Farnsworth-Munsell D-15. A vantagem é que nesse tipo de teste o indivíduo não manipula e nem suja as cores, pois não toca as pranchas. Pode ser usado para testar defeitos congênitos e adquiridos⁽⁵⁷⁻⁵⁸⁾.

Testes de nomeação de cores

Conhecidos como lanternas coloridas, não são testes seguros para avaliar detalhadamente as alterações da visão cromática. Porém, podem ter um desempenho satisfatório nas avaliações ocupacionais, como ferroviários, marinheiros e motoristas, pois simulam uma situação prática. Podem ser altamente influenciados pelas diferenças de intensidade luminosa.

O teste **Farnsworth Lantern (FaLant)**, desenvolvido para uso da marinha norte-americana, possui luzes vermelha, verde e branca e serve para triagem dos candidatos a ingresso na marinha e aeronáutica. É mais difícil passar nesse teste do que no teste de Farnsworth D-15⁽⁵⁹⁾.

Não é mais encontrado comercialmente, mas o equipamento **Stereo Optical OPTEC 900** é usado como substituto, inclusive pela marinha norte-americana.

Outro teste semelhante é o de **Holmes-Wright Lantern (H-W)**, cuja sensibilidade para detecção de defeitos congênitos é de cerca de 80%, se o critério utilizado for de até 2 erros durante a aplicação de mesmo⁽⁶⁰⁻⁶¹⁾.

Recentemente, também se tornou indisponível.

Outros testes de visão de cores

Diversos testes para avaliar a sensibilidade cromática têm sido desenvolvidos ao longo dos anos, porém, citamos e discutimos mais sobre os testes mais largamente utilizados.

Recentemente, alguns testes aplicados por computador, como o **Cambridge Colour Test**, têm sido aplicados em estudos científicos, com a vantagem de permitir o ajuste da diferença de cromaticidade entre o alvo e o fundo, de acordo com a performance do indivíduo examinado. O grupo de pesquisa coordenado pela Professora Dora Ventura, do Instituto de Psicologia da USP (SP), vem desenvolvendo inúmeras pesquisas com esse equipamento⁽⁶²⁻⁶⁴⁾.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação do senso cromático é de fundamental importância na prática oftalmológica e necessita de padronizações para a obtenção de uma avaliação real da capacidade de discriminação cromática de um indivíduo.

O conhecimento dos testes apresentados é de fundamental importância, uma vez que foram desenvolvidos para propostas diversas e bem definidas. Podemos considerar o teste de Ishihara o teste mais sensível e mais usado mundialmente para pesquisa dos defeitos congênitos. A associação com o teste AO-HRR, pode fornecer uma avaliação quantitativa do defeito congênito apresentado.

Os defeitos adquiridos são melhor reproduzidos pelo teste de Farnsworth-Munsell 100-Hue, que, na maioria das vezes, revela um padrão incaracterístico de defeito. Podem ser pesquisados também pelo teste SPP - Parte II, numa avaliação inicial de triagem.

Nossa experiência com avaliação da sensibilidade cromática nos pacientes com orbitopatia de Graves tem sido enriquecedora. Constitui um método alternativo de avaliação de sofrimento do nervo óptico, associado a campimetria, à medida da acuidade visual, ao exame clínico e aos exames de imagem. Encontramos alterações inespecíficas em cerca de 60% dos pacientes avaliados quando aplicado o teste do tipo arranjo. Nossa rotina de teste inclui 3 exames de pranchas pseudoisocromáticas (teste de Ishihara de 24 pranchas, teste

*Nagel (1907) apud⁽⁵⁵⁾

AO-HRR e teste SPP - Parte II) e o teste de arranjo Farnsworth Munsell 100 Hue (FM100). Utilizamos iluminação padronizada fornecida por uma lâmpada de 100 watts, com óculos de filtros azuis, que proporciona uma temperatura de cor de 6.740° Kelvin e iluminância de 500 lux na superfície de teste.

OBTENÇÃO DOS TESTES E "SITES" DE INTERESSE

Podemos obter esses testes através de firmas especializadas ou através dos próprios fabricantes. O uso da internet possibilita um amplo acesso aos catálogos e padronizações dos produtos.

No caso de interesse por informações adicionais sobre os testes e sobre o tema visão de cores, recomendamos alguns "sites" interessantes:

www.gretagmacbeth.com

www.richmondproducts.com

www.gelighting.com/br

www.cie.co.at

www.usp.br/ip/laboratorios/visual/visual.htm

ABSTRACT

Evaluation of the chromatic sense has a great value in ophthalmic practice, both for diagnosis of the congenital defects (daltonism), as well as for diagnosis and follow-up of acquired defects. Many clinical tests are available to be used for this purpose. However it is necessary to know the details and sensitivity of each test, since there are many variations in the results, depending on the searched condition, if congenital or acquired pathologies. Our goal is to review the types of defects of the chromatic sense and provide information about the main current available tests and their best purpose. We further emphasize the importance of standard illumination procedure in the application of the tests.

Keywords: Color vision defects; Color perception; Light; Color perception tests; Vision tests/history; Eye/physiopathology

REFERÊNCIAS

- Kaiser PK, Boynton RM. Human color vision. 2nd ed. Washington: Optical Society of America; 1986.
- Pedrosa I. Leonardo da Vinci e a teoria das cores. In: Pedrosa I, editor. Da cor à cor inexistente. Rio de Janeiro: Universidade de Brasília; 1982. p.37-48.
- Pedrosa I. Newton e a óptica física. In: Pedrosa I, editor. Da cor à cor inexistente. Rio de Janeiro: Universidade de Brasília; 1982. p.49-51.
- Pedrosa I. O Esboço de uma teoria das cores, de Goethe. In: Pedrosa I, editor. Da cor à cor inexistente. Rio de Janeiro: Universidade de Brasília; 1982. p.53-66.
- Mollon JD. Introduction. In: Mollon JD, Pokorny J, Knoblauch K, editors. Colour and defective colour vision. New York: Oxford University Press.; 2003.
- Gouras P. Color vision. In: Kandel EC, Schwartz JH, editors. Principles of neurologic science. New York: Elsevier; 1985. p.384-95.
- Pokorny J, Smith VC, Verriest G, Pinckers AJLG. Congenital and acquired color vision defects. New York: Grune and Stratton; 1979.
- Fletcher R, Voke J. Defective colour vision. Fundamentals, diagnosis and management. Bristol: Adam Hilger; 1985.
- Benson WE. An introduction to color vision. In: Tasman W, Jaeger EA, editors. Duane's Clinical Ophthalmology. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1995. p.1-19.
- Krill AE. Evaluation of color vision. In: Krill AE, editor. Hereditary retinal and choroidal diseases. London: Harper & How; 1972. p.309-40.
- Curcio CA, Sloan KR, Kalina RE, Hendrickson AE. Human photoreceptor topography. J Comp Neurol. 1990;292(4):497-523.
- Bron AJ, Tripathi RC, Tripathi BJ. The visual pathway. In: Bron AJ, Tripathi RC, Tripathi BJ. Wolff's anatomy of the eye and orbit. London: Chapman & Hall; 1997. p.489.
- Kupfer C, Chumbley L, De Downer JC. Quantitative histology of the optic nerve, optic tract and lateral geniculate nucleus of man. J Anat. 1967;101(Pt 3): 393-401.
- Livingstone MS, Hubel DH. Anatomy and physiology of a color system in the primate visual cortex. J Neurosci. 1984;4(1):309-56.
- Brodman K. Beitrage zur histologischen Lokalisation der Grosshirnrinde. J Psychol Neurol. 1905;4:176-226.
- Zeki S. The distribution of wavelength and orientation selective cells in different areas of monkey visual cortex. Proc R Soc Lond B Biol Sci. 1983;217 (1209):449-70.
- Tripathi RC, Tripathi BJ. The Eye. In: Davson H, editor. Anatomy of the human eye, orbit and anexa. London: Academic Press; 1984. p.40,157.
- Pacheco-Cutillas M, Edgar DF, Sahraie A. Acquired colour vision defects in glaucoma - their detection and clinical significance. Br J Ophthalmol. 1999;83 (12):1396-402.
- Greenaway F. John Dalton and the atom. New York: Cornell University Press; 1966.
- Schmidt I. On congenital tritanomaly. Vision Res. 1970;10(8):717-43.
- Swanson WH, Cohen JM. Color vision. Ophthalm Clin North Am. 2003;16 (2):179-203.
- Krastel H, Moreland FD. Colour vision deficiencies in ophthalmic diseases. In: Foster DH, editor. Inherited and acquired colour vision deficiencies: fundamental aspects and clinical studies. Boca Raton: CRC Press; 1991.
- Verriest G. Further studies on acquired deficiency of color discrimination. J Opt Soc Am. 1963;53:185-95.
- Pinckers A, Marré M. Basic phenomena in acquired colour vision deficiency. Doc Ophthalmol. 1983;55(3):251-71.
- Marré M, Marré E. Different types of acquired colour vision deficiencies on the base of CVM patterns in dependence upon the fixation mode of the diseased eye. Mod Probl Ophthalmol. 1978;19:248-52.
- Marré M. The investigation of acquired colour vision deficiencies. In: Marre M. Colour. London: Adam Hilger; 1973. p.99-135.
- Köllner H. Die Storungen des Farbensinnes Ihre Kilnische Bedeutung und ihre Diagnose. Berlin: Karger; 1912.
- Grutner P. Acquired color vision defects. In: Jameson D, Hurvich LM, editors. Handbook of sensory physiology. Berlin: Springer Verlag; 1972. p.643-59.
- Hong SM. Types of acquired color vision defects. AMA Arch Ophthalmol. 1957;58(4):505-9.
- Verriest G. Further studies on acquired deficiency of color discrimination. J Opt Soc Am. 1963;53:185-95.
- Comission Internationale de l'Éclairage - (CIE). Proceedings, 1931. Cambridge: Cambridge University Press; 1932.
- McLaren K. Defective color vision. II its diagnosis. J Soc Dyers Colour. 1966; 82:382-7.
- Johnson DD. The True Daylight Illuminator (TDI): a less expensive source of illumination for color vision screening. J Am Optom Assoc. 1992;63(7):491-5.
- Nichols BE, Thompson HS, Stone EM. Evaluation of a significantly shorter version of the Farnsworth-Munsell 100-hue test in patients with three different optic neuropathies. J Neuroophthalmol. 1997;17(1):1-6.
- Dain SJ. Clinical colour vision tests. Clin Exp Optom. 2004;87(4-5):276-93.
- Birch J. Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency. Ophthalmic Physiol Opt. 1997;17(5):403-8.
- Crone RA. Quantitative diagnosis of defective colour vision. A comparative evaluation of the Ishihara test, the Farnsworth Dichotomous test and the H-R-R polychromatic plates. Am J Ophthalmol. 1961;51:298-305.
- Hardy LH, Rand G, Rittler MC. Tests for detection of colour blindness. I. An evaluation of the Ishihara test. AMA Arch Ophthalmol. 1945;3534:295-302.
- de Alwis DV, Kon CH. A new way to use the Ishihara test. J Neurol 1992;239 (8):451-4.
- Birch J. Colour vision tests: general classification. In: Foster DH, editor. Inherited and acquired colour vision deficiencies: fundamental aspects and clinical studies. Boca Raton: CRC Press; 1991. p.215-33.

41. Hardy LH, Rand G, Rittler MC. The H.R.R. Polychromatic Plates. *J Opt Soc Am.* 1945;44:509-23.
42. Bailey JE, Neitz M, Tait Dm, Neitz J. Evaluation of an updated HRR color vision test. *Vis Neurosci.* 2004;21(3):431-6.
43. Hukami K, Ichikawa H, Tanabe S. Evaluation of the standard pseudoisochromatic plates. In: Verriest G, editor. *Colour vision deficiencies.* Bristol: Adam Hilger; 1980. p.200-3.
44. Hovis JK, Cawker CL, Cranton D. Comparison of the standard pseudoisochromatic plates—Parts 1 and 2—As screening tests for congenital red-green color vision deficiencies. *J Am Optom Assoc.* 1996;67(6):320-6.
45. Tanabe S, Hukami K, Ichikawa H. New pseudoisochromatic plates for acquired color vision defects. In: Verriest G, editor. *Colour vision deficiencies.* Bristol: The Hage: W. Junk; 1984. p.199-204.
46. Lakowski R, Yamazaki M, Kozak J. Objective data for the SPP test Part 2. In: Drum B, Verriest G, editors. *Colour vision deficiencies.* Dordrecht: Kluwer; 1989. p.469-77.
47. Cotter SA, Lee DY, French AL. Evaluation of a new color vision test: "color vision testing made easy". *Optom Vis Sci.* 1999;76(9):631-6.
48. Farnsworth D. *The Farnsworth-Munsell 100-Hue Test for the examination of color discrimination.* Maryland: Munsell Color; 1957.
49. Birch J. Use of the Farnsworth-Munsell 100-Hue test in the examination of congenital colour vision defects. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1989;9(2):156-62.
50. Vingrys AJ, King-Smith PE. A quantitative scoring technique for panel tests of color vision. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1988;29(1):50-63.
51. Kinnear PR, Sahraie A. New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5-22 and for age decades 30-70. *Br J Ophthalmol.* 2002;86(12):1408-11.
52. Farnsworth D. *The Farnsworth dichotomous test for color blindness.* New York: Psychological Corporation; 1947.
53. Collin HB. Recognition of acquired colour defects using the panel D-15. *Aust J Optom* 1966;49:342-7.
54. Bassi CJ, Galanis JC, Hoffman J. Comparison of the Farnsworth-Munsell 100-Hue, the Farnsworth D-15, and the L'Anthony D-15 desaturated color tests. *Arch Ophthalmol.* 1993;111(5):639-41.
55. Rayleigh L. Experiments on colour. *Nature* 1881;25:64-6.
56. Moreland JD, Kerr J. Optimization of a Rayleigh-type equation for the detection of tritanomaly. *Vision Res.* 1979;19(12):1369-75.
57. Birch J. *Clinical use of the City University Test (2nd Edition).* *Ophthalmic Physiol Opt.* 1997;17(6):466-72.
58. Oliphant D, Hovis JK. Comparison of the D-15 and City University (second) color vision tests. *Vision Res.* 1998;38(21):3461-5.
59. Birch J, Dain SJ. Performance of red-green color deficient subjects on the Farnsworth Lantern (FALANT). *Aviat Space Environ Med.* 1999;70(1):62-7.
60. Vingrys AJ, Cole BL. Validation of the Holmes-Wright lanterns for testing colour vision. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1983;3(2):137-52.
61. Hovis JK, Oliphant D. Validity of the Holmes-Wright lantern as a color vision test for the rail industry. *Vision Res.* 1998;38(21):3487-91.
62. Ventura DF, Costa MF, Gualtieri M, Nishi M, Bernick M, Bonci DM. Early vision loss in diabetic patients assessed by the Cambridge Colour Vision. In: Mollon JD, Pokorny J, Knoblauch K, editors. *Normal and defective colour vision.* New York: Oxford University Press.; 2003. p.395-403.
63. Ventura DF, Silveira LC, Rodrigues AR, De Souza J, Gualtieri M, Bonci DM, et al. Preliminary norms for the Cambridge Colour Test. In: Mollon JD, Pokorny J, Knoblauch K, editors. *Normal and defective colour vision.* New York: Oxford University Press.; 2003. p.331-9.
64. Costa MF. *Perdas visuais na distrofia muscular de Duchenne: visão de cores e visão de contrastes de luminância temporal e espacial [tese].* São Paulo: Universidade de São Paulo; 2004.