



Диагностика цветового зрения у детей с врожденной частичной атрофией зрительного нерва

Рычкова Светлана И.^{1,2,*}, Лихванцева Вера Г.³, Сандимиров Роман И.⁴

¹ ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» РАН, 127051, Российская Федерация, г. Москва, Большой Каретный пер., д. 19

² Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, Российская Федерация, г. Москва, ул. Гамалеи, д. 15

³ Академия постдипломного образования ФБГУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства», 125371, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское ш., д. 91

⁴ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, 117997, Российская Федерация, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1

Резюме

Актуальность. Исследование цветового зрения имеет важное значение в диагностике и мониторинге зрительных функций у детей с частичной атрофией зрительного нерва (ЧАЗН). ЧАЗН является одной из основных причин слепоты и слабовидения в раннем возрасте, поэтому важность исследования цветового зрения при данной патологии не вызывает сомнений. Классические тесты предлагают решить ребенку одновременно две задачи: различить цвет и распознать форму, но интеграция информации о цвете и форме при ЧАЗН может быть затруднена. **Цель** – сравнить эффективность диагностики цветового зрения у детей с врожденной ЧАЗН классическими способами и с помощью разработанных собственных тестов. **Материалы и методы.** В период 2020–2022 гг. наблюдали 72 ребенка школьного возраста: 37 с врожденной двусторонней ЧАЗН (1-я группа) и 35 с нормальными показателями зрительных функций и без патологии глазного дна (2-я группа, контроль). Цветовое зрение исследовали с помощью собственных тестовых изображений (патент RU 2760085 от 02.04.2021) и классических тестов (полихроматические таблицы Е. Б. Рабкина и Neitz-test). **Результаты.** В контрольной группе при исследовании цветового зрения по таблицам Рабкина у четырех детей возникли затруднения с определением формы тестовой фигуры в трех из 27 основных таблиц. При этом цвета отдельных кружков, составляющих изображения, обследуемые называли правильно. В Neitz-test только один ребенок не различал форму фигур коричневого и зеленого тона минимальной насыщенности, остальные правильно определяли цветные фигуры на всех тестовых изображениях. Исследование с разработанными тестами в контрольной группе затруднений не вызвало. **В группе детей с ЧАЗН** при исследовании с классическими тестами 15 (40,5 %) испытывали значительные затруднения с определением формы тестовой фигуры в таблицах Рабкина, при этом правильно называя цвета отдельных кружков, и 12 (32,4 %) – в изображениях Neitz-test. Классическими способами у 18 (48,6 %) детей выявлена нормальная трихроматизация и у 4 (10,8 %) – аномальная трихроматизация. С разработанными тестами у 6 (16,2 %) выявлены нарушения цветового зрения. При этом у 4 из них аномальная трихроматизация подтверждена таблицами Рабкина и Neitz-test. **Заключение.** Разработанные нами тестовые изображения более легки для выполнения в диагностике нарушений цветового зрения у детей с офтальмопатологией и не ставят перед ребенком сложной зрительной задачи опознания хроматической формы. В связи с этим они более эффективны, чем классические тесты, и более перспективны для использования не только в школьном, но и дошкольном возрасте.

Ключевые слова: частичная атрофия зрительного нерва, цветовое зрение, методы диагностики цветового зрения

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: авторы не получали финансирования при проведении исследования и написании статьи.

Для цитирования: Рычкова С.И., Лихванцева В.Г., Сандимиров Р.И. Диагностика цветового зрения у детей с врожденной частичной атрофией зрительного нерва. The EYE ГЛАЗ. 2023;25(1):24–33. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2023-1-24-33>

Поступила: 31.05.2022

Принята после доработки: 07.02.2023

Опубликована: 30.03.2023

© Рычкова С.И., Лихванцева В.Г., Сандимиров Р.И., 2023.

Diagnosis of color vision in children with congenital partial atrophy of the optic nerve

Svetlana I. Rychkova^{1,2,*}, Vera G. Likhvantseva³, Roman I. Sandimirov⁴

¹ Kharkevich Institute for Information Transmission Problems,
19, Bolshoy Karetny Lane, Moscow, 127051, Russian Federation

² Medico-biological University of Innovation and Continuing Education of Russian State Research Center –
Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency,
15, Gamalei Str., Moscow, 123098, Russian Federation

³ Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical
Assistance and Medical Technologies of Federal Medical Biological Agency of Russia,
91, Volokolamskoye Highway, Moscow, 125371, Russian Federation

⁴ N.I. Pirogov Russian National Research Medical University,
1, Ostrovityanova Str., Moscow, 117997, Russian Federation

Abstract

Background. The study of color vision is of great importance in the diagnosis and monitoring of visual functions in patients with of the partial atrophy of optic nerve (PAON). Due to the fact that PAON is one of the main causes of blindness and low vision in children, there is no doubt about the importance of effective diagnosis of color vision not in children with this pathology. **Purpose:** to evaluate the effectiveness of the diagnosis of color vision in children with congenital partial atrophy of the optic nerve using developed own tests in comparison with classical methods. The Rabkin and Neitz-test tables create conditions under which the examined child is given two tasks at once – color discrimination and shape identification. At the same time, the integration of information about color and shape may be difficult in children with PAON. **Materials and methods.** In 2020–2022 years 72 school-age children were observed, who, after a standard ophthalmological examination, were divided into two groups: 1) 37 children with congenital bilateral PAON; 2) 35 children of the control group with no pathology of the fundus and normal indicators of visual functions. To study color vision, we used our own developed test images (Patent RU 2760085 of 02.04.2021), as well as classical tests – polychromatic tables E.B. Rabkin and Neitz-test. **Results.** In the control group, when studying color vision according to Rabkin tables, four children had some difficulties with determining the shape of test figure in three of the 27 main tables. At the same time, the children named the colors of individual circles that make up the images correctly. In the Neitz-test, only one child did not distinguish between the shapes of brown and green tones of minimal saturation. The other children correctly identified the colored shapes in all the test images. The study with the developed tests did not cause any difficulties for any of the children of the control group. With minimal saturation, all children distinguished chromatic images from achromatic ones and correctly distinguished shades. In the group of children with PAON in the study with classical tests, 15 (40.5%) children experienced significant difficulties with determining the shape of the test figure in some Rabkin tables (while correctly naming the colors of individual circles) and 12 (32.4%) children – in Neitz-test images. Normal trichromasia was detected in 18 (48.6%) children and in 4 (10.8%) children – abnormal trichromasia according to both Rabkin's tables and Neitz-test. With the developed tests, 6 (16.2%) children had color vision disorders. At the same time, abnormal trichromasia was detected in 4 of them according to the Rabkin and Neitz-test tables. **Conclusion.** The test images developed by us are easy to perform and do not pose a difficult visual task for the child to identify the chromatic shape. In this regard, they allow for effective diagnosis of color vision in children in normal and ophthalmopathology, and are also promising for use in children not only of school age, but also of younger age.

Keywords: partial atrophy of the optic nerve, color vision, diagnostic methods of color vision

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

Funding: the authors receive no specific funding for this work.

For citation: Rychkova S.I., Likhvantseva V.G., Sandimirov R.I. Diagnosis of color vision in children with congenital partial atrophy of the optic nerve. The EYE GLAZ. 2023;25(1):24–33. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2023-1-24-33>

Received: 31.05.2022

Accepted: 07.02.2023

Published: 30.03.2023

© Rychkova S.I., Likhvantseva V.G., Sandimirov R.I., 2023.

Актуальность

Атрофия зрительного нерва (АЗН) представляет собой дегенеративный процесс в аксонах третьего нейрона зрительного пути – начиная от ганглиозных клеток сетчатки до латерального коленчатого тела. Различают полную и частичную атрофию зрительного нерва (ЧАЗН). ЧАЗН может быть врожденной и приобретенного характера. Причинами врожденной ЧАЗН обычно является перинатальная патология, такая как внутриутробная инфекция, ишемически-гипоксическая энцефалопатия, гидроцефально-гипертензионный синдром, внутричереп-

ные кровоизлияния при тяжелом родоразрешении, кровоизлияния в оболочки зрительного нерва и сетчатку, хроническая гипоксия и вторичные нарушения в микроциркуляторном русле глаза и мозга [1–5].

ЧАЗН сопровождается выраженным угнетением всех зрительных функций и является одной из основных причин слепоты и слабовидения у детей [6]. Одним из возможных проявлений зрительных дисфункций при ЧАЗН является патология цветового зрения [7, 8].

В связи с этим не вызывает сомнений актуальность проблемы исследования цветового зрения

у детей разного возраста в норме и при офтальмопатологии [9–11].

Несмотря на большое количество разработанных к настоящему времени способов диагностики цветового зрения (аномалоскопия, цветовая кампиметрия, табличные методы, компьютерные программы, панельные тесты ранжировки цветов), подавляющая их часть предназначена в основном для исследования цветовосприятия у взрослых и детей старшего возраста. Некоторые из них требуют специального оборудования (например, регистрации электроретинографии (ЭРГ) и зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) на цветовые стимулы) [9, 12].

Наиболее простым и доступным способом диагностики цветового зрения в амбулаторных условиях являются табличные методы. В нашей стране популярны полихроматические таблицы Е.Б. Рабкина и псевдоизохроматические таблицы Ишихара [13–16]. В последние десятилетия не менее популярным становится Neitz-test, преимущества которого – простота выполнения и минимальное время исследования, что является важным аспектом при тестировании детей [17, 18].

Наряду с доступностью, простотой и удобством использования табличные методы имеют свои недостатки в виде неточности передачи цветов принтерами при распечатывании изображений и их постепенного выцветания. Эту проблему можно решить, используя предъявление тестовых изображений на экране монитора. При этом необходима предварительная калибровка цветопередачи при помощи специальных компьютерных программ [10, 15, 19].

Большинство существующих табличных методов основано на сравнении изображений по цветовому тону. Между тем, показано, что способность зрительного анализатора человека к различению цветов по тону существенно превышает их способность различать цвета по насыщенности [20, 21]. В связи с этим диагностика нарушений цветового зрения должна быть представлена тестами с изображением объектов хроматических цветов разной степени насыщенности и ахроматических, а также изображений объектов, имеющих цветовые оттенки разной степени насыщенности. Это и стало задачей нашего способа диагностики цветового зрения у детей.

Цель

Сравнить эффективность диагностики цветового зрения у детей с врожденной ЧАЗН классическими способами и с помощью разработанных собственных тестов.

Материалы и методы

Исследование проводили в период 2020–2022 гг. на базе школьного отделения № 5 (для детей с офтальмопатологией) школы 1499 г. Москвы и детской городской поликлиники № 99 г. Москвы. Наблюдали 72 ребенка школьного возраста, которых после стандартного офтальмологического обследования

разделили на две группы: 1) 37 детей с врожденной двусторонней ЧАЗН, 2) 35 детей контрольной группы с нормальной остротой зрения и без патологии глазного дна. Клинические характеристики групп обследованных детей представлены в *табл. 1*.

Для диагностики цветового зрения использовали таблицы Е.Б. Рабкина, Neitz-test и разработанные собственные тестовые изображения.

Полихроматические таблицы Е.Б. Рабкина использовали по стандартной методике [14]. Каждая из 27 таблиц состоит из цветных кружков, уравненных по яркости и насыщенности, но различающихся по цветовому тону. Кружки одного цветового тона образуют тестовую фигуру на фоне кружков другого цветового тона. Тест позволяет выявлять палитру цвета, который не видит (не может различить тестовую фигуру) пациент с нарушением цветового зрения.

При исследовании цветового зрения с помощью Neitz-test изображения предъявляли на экране монитора. Предварительно проводили юстирование цветопередачи дисплея при помощи спектрофотометра ilpro (Rev. E) фирмы X-Rite и программы DisplayCal. Тест состоит из девяти изображений, представляющих собой круг диаметром 5 см, состоящий из серых точек различной яркости на белом фоне размером 1–2 мм. Более темные серые точки составляют ахроматическую геометрическую фигуру (треугольник, квадрат, ромб, круг), заметную как при нормальном цветовом зрении, так и при его патологии. Кроме того, каждый круг содержит дополнительную фигуру, состоящую из цветных точек разной яркости (синюю, сине-зеленую, красную, лиловую и желтую) (*рис. 1*). Перед ребенком ставили задачу распознать фигуры и их цвета и рассказывать или рисовать их на листе бумаги цветными карандашами [17, 18].

Собственные разработанные тесты для диагностики цветового зрения включали два теста, первый позволял оценить способность ребенка отличать хроматическое изображение разной степени насыщенности от ахроматического, второй тест раскрывал возможность оценить способность к распознаванию цветовых тонов при разной степени насыщенности цвета (патент RU 2760085 от 02.04.2021).

При создании тестовых изображений использовали формат характеристики цветов HLS, в котором H (Hue) обозначает цветовой тон (в градусах в соответствии со спектральным кругом), S (Saturate) – насыщенность (в процентах), L (Lightness) – светлоту или яркость (в процентах) [22].

Силуэтные картинки для тестирования представляют собой простые изображения знакомых с детства объектов, что позволяет использовать их у детей младшего возраста.

Тест № 1 содержит шесть групп картинок, представляющих собой простые изображения, понятные детям младшего возраста. Каждая из шести групп изображений включает три контрольных ахроматических (серые) изображения одинаковой степени яркости и одно тестовое хроматическое

Таблица 1. Клинические характеристики обследованных групп детей
Table 1. Clinical characteristics of the examined groups of children

Клинические характеристики Clinical characteristics		Группа детей с ЧАЗН (<i>n</i> = 37) Group of children with PAON (<i>n</i> = 37)	Контрольная группа детей (<i>n</i> = 35) Control group of children (<i>n</i> = 35)
Возраст (годы, <i>M</i> ± <i>m</i>) Age (years, <i>M</i> ± <i>m</i>)		12,5 ± 0,45	14,5 ± 0,25
Количество мальчиков/девочек (абсолютное число детей, (%)) Number of boys/girls (absolute number of children, (%))		23/14 (62,2/37,8)	20/15 (57,1/42,9)
Распределение детей в зависимости от вида рефракции (абсолютное число детей (%)) Distribution of children depending on the type of refraction (absolute number of children (%))	эмметропическая emmetropic	0	10 (28,6)
	миопическая myopic	15 (40,5)	17 (48,5)
	гиперметропическая hypermetropic	14 (37,9)	8 (22,9)
	смешанный астигматизм mixed astigmatism	6 (16,2)	0
	артифакция pseudophakia	2 (5,4)	0
Острота зрения с коррекцией (<i>M</i> ± <i>m</i> , усл. ед.) Visual acuity with correction (<i>M</i> ± <i>m</i> , conventional units)	лучше видящего глаза better seeing eye	0,25 ± 0,03	0,99 ± 0,01
	хуже видящего глаза worse seeing eye	0,17 ± 0,02	0,98 ± 0,01
Распределение детей по наличию/отсутствию девиации (абсолютное число детей (%)) Distribution of children by presence/absence of deviation (absolute number of children (%))	ортотропия orthotropy	13 (35,1)	35 (100)
	сходящееся косоглазие convergent strabismus	14 (37,9)	0
	расходящееся косоглазие divergent strabismus	10 (27)	0
Состояние глазного дна The condition of fundus		ДЗН бледный, границы четкие. Макулярные рефлексы сглажены. The disc of optic nerve is pale, the boundaries are clear. Macular reflexes are smoothed out.	Норма Normal
Поля зрения Fields of view		Концентрическое сужение на 5–15 (в среднем на 12,4 ± 0,35) градусов. Concentric narrowing by 5–15 (average of 12.4 ± 0.35) degrees.	Норма Normal
Электрофизиологические исследования (ЭФИ) Electrophysiological studies		Патологические изменения (снижение амплитуды ЭРГ и ЗВП, повышение порога электрической чувствительности (ПЭЧ), снижение электрической лабильности (ЭЛ)). Pathological changes (decrease in the amplitude of ERG and SVP, increase in the threshold of electrical sensitivity, decrease in electrical lability).	ПЭЧ и ЭЛ в норме (исследование ЭРГ и ЗВП не проводили). The threshold of electrical sensitivity and electrical lability are normal (the study of ERG and SVP was not carried out).

определенного тона. Яркость для всех изображений одинаковая (*L* 50 %). Степень насыщенности цвета хроматического изображения составляла *S* 10 % для варианта 1, *S* 30 % для варианта 2 и *S* 50 % для варианта 3 (рис. 2). Тестируемые цветовые тона соответствуют основным (а – Н 0° или 360° (красный), б – Н 120° (зеленый), в – Н 240° (синий)) и дополнительным (г – Н 60° (желтый), д – Н 180° (голубой),

е – Н 300° (пурпурный)) цветам спектрального круга [23]. Во время обследования задачей ребенка было определить, какое из изображений в каждой группе отличается от других и назвать его цвет.

Тест № 2 содержит 6 групп хроматических изображений одинаковой яркости (*L* 50 %). Каждая группа включает три контрольные картинки, представляющие один из основных тонов спектрального

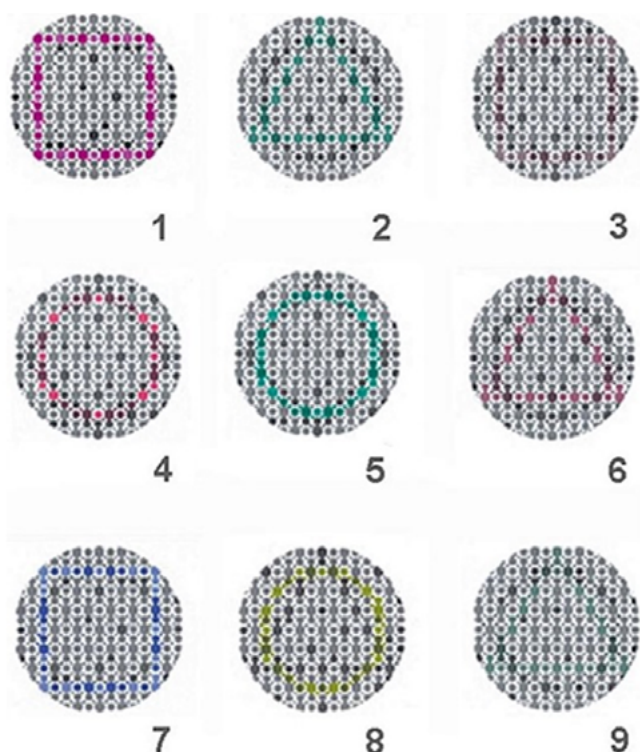


Рис. 1. Neitz-test [17, 18]

Fig. 1. Neitz-test [17, 18]

круга: 1 – красный (Н 0° или 360°), 2 – зеленый (Н 120°), 3 – синий (Н 240°), а также тестовую картинку, соответствующую оттенку основного цвета: 1 а – Н 325°, 1 б – Н 35°, 2 а – Н 85°, 2 б – Н 155°, 3 а – Н 205°, 3 б – Н 275° [22, 23]. Насыщенность для основных тонов и их оттенков составляет S 10 % для варианта 1, S 30 % для варианта 2, S 50 % для варианта 3 (рис. 3). Задачей обследуемого ребенка было определить, какая из картинок в каждой группе отличается по оттенку от остальных трех.

Тест № 1 использовали для выявления цветаномалии. Если ребенок отличал хроматические цвета уже при их минимальной насыщенности (S 10 %) от ахроматического, то результат оценивали как соответ-

ствующий норме. Слабой степени протанопию/дейтеранопию/тританопию считали, если обследуемый ребенок не отличал красное/зеленое/синее изображение от ахроматических при S 10 %, средней степени – когда ребенок правильно называл хроматическую картинку только при S 30–50 % и выраженную (полную) протанопию/дейтеранопию/тританопию – если ребенок не различал цветовой тон даже при S 50 %. Отсутствие цветовосприятия к одному из цветов оценивали как дихромазию, к двум – монохромазию и ко всем трем – ахромазию.

При помощи теста № 2 проводили диагностику наличия/отсутствия цветаномалии (патологию восприятия оттенков цветового тона). Отсутствие цветаномалии (нормальную трихромазию) отмечали в том случае, если ребенок правильно различал оттенки основных цветов при их минимальной насыщенности S 10 %. Цветаномалию слабой степени регистрировали, если обследуемый ребенок не отличал оттенки от основного тона при S 10 %, средней степени – если ребенок различал оттенки при S 30–50 % и выраженную – при полной неспособности ребенка различать оттенки при S 30–50 %.

Результаты

В контрольной группе при тестировании по таблицам Е.Б. Рабкина у четырех (11,4 %) детей возникли затруднения с определением формы тестовой фигуры в некоторых таблицах. Один мальчик и две девочки (в возрасте 8–10 лет) не смогли определить форму фигуры в таблице № XX, и одна девочка 11 лет – в таблицах № XX, XIV и XV (рис. 4). При этом дети могли правильно назвать цвета отдельных кружков, из которых составлено изображение.

Одна девочка, затруднявшаяся с определением формы фигуры в таблицах Е.Б. Рабкина № XX, XIV и XV, не могла различить в Neitz-test формы фигур в тестах № 3 (коричневый квадрат минимальной насыщенности) и № 9 (зеленый треугольник минимальной насыщенности). Все остальные дети

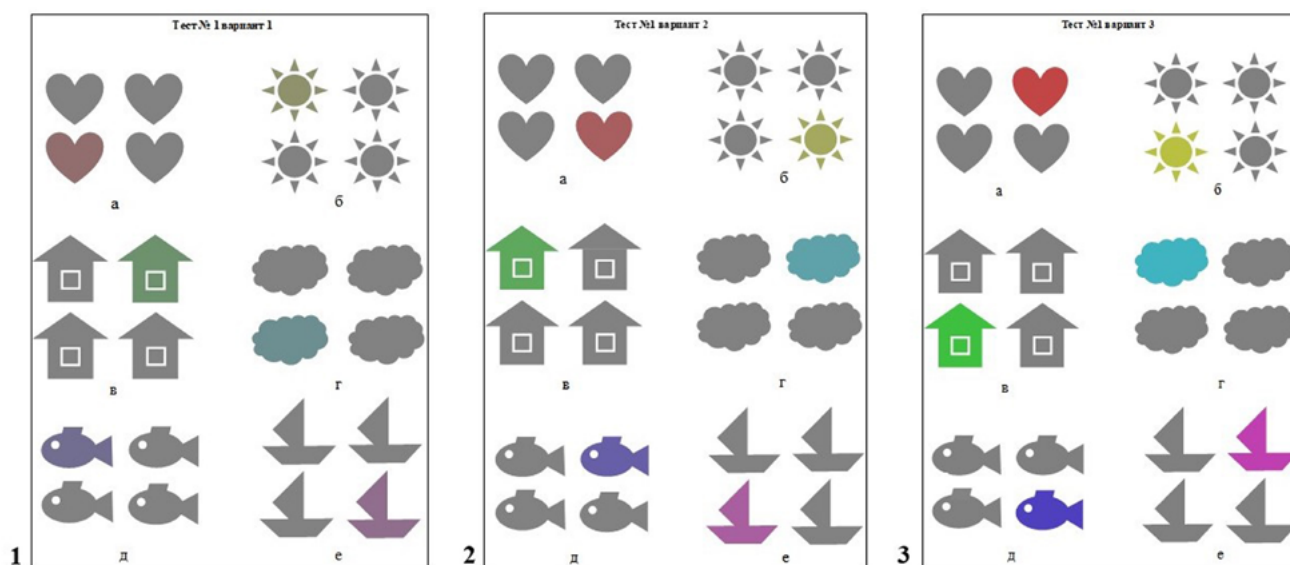


Рис. 2. Тест № 1, варианты 1–3

Fig. 2. Test № 1, variants 1–3

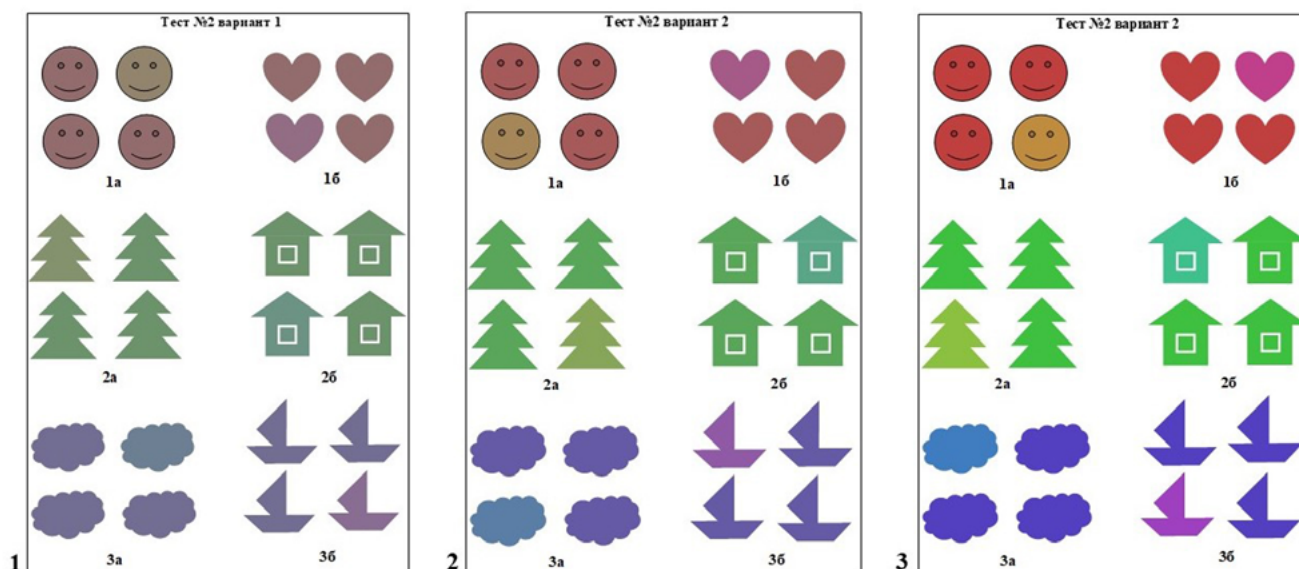


Рис. 3. Тест № 2, варианты 1–3

Fig. 3. Test № 2, variants 1–3

контрольной группы правильно определяли цветные фигуры во всех тестовых изображениях.

Исследование цветового зрения с разработанными собственными тестами ни у кого из детей контрольной группы затруднений не вызвало. При минимальной насыщенности все дети отличали хроматические изображения от ахроматических и правильно распознавали оттенки.

В группе детей с ЧАЗН при исследовании цветового зрения по таблицам Е.Б. Рабкина 18 (48,6 %) детей не испытывали затруднений с определением цвета и формы тестовых фигур (диагностирована нормальная трихроматизация). Значительные затруднения с определением формы тестовой фигуры в некоторых таблицах испытывали 15 (40,5 %) детей в возрасте от 8 до 17 (в среднем $12,7 \pm 0,2$) лет. При этом цвета отдельных кружков, составляющих тестовые фигуры, они называли правильно. Определить форму в таких случаях обычно помогало дополнительное задание провести пальцем по кружкам одного цвета. Наиболее трудными для определения формы тестовой фигуры были таблицы № X (затруднялись 7 детей), IV и XX (8 детей), XV (9 детей), XIV (11 детей) (рис. 5).

По количеству таблиц, вызывающих сложности с восприятием формы тестовой фигуры, дети распределялись следующим образом: от одной до трех таблиц вызывали трудности у пяти детей, от четырех до семи – у шести, от девяти до 11 – у четырех детей.

При этом нужно отметить, что все 15 детей, плохо различавших форму тестовых фигур в перечисленных таблицах, правильно оценивали тестовые изображения в таблицах № XVIII и XXI (предназначенных для дифференциальной диагностики дихроматизации и аномальной трихроматизации). Эти таблицы, в отличие от остальных, содержат ряды одинаковых по размеру красных и зеленых квадратиков. Таким образом, задача обследуемого заключалась в определении не формы, а только цвета деталей таблиц.

Аномальная трихроматизация по таблицам Е.Б. Рабкина была выявлена у четырех (10,9 %) детей с ЧАЗН. В частности, наблюдалась аномальная трихроматизация в виде сочетания тританомалии с дейтераномалией (у двух девочек и одного мальчика) и протаномалией (у одного мальчика).

При исследовании по Neitz-test только 11 (29,7 %) детей хорошо определяли цвет и форму всех тестовых

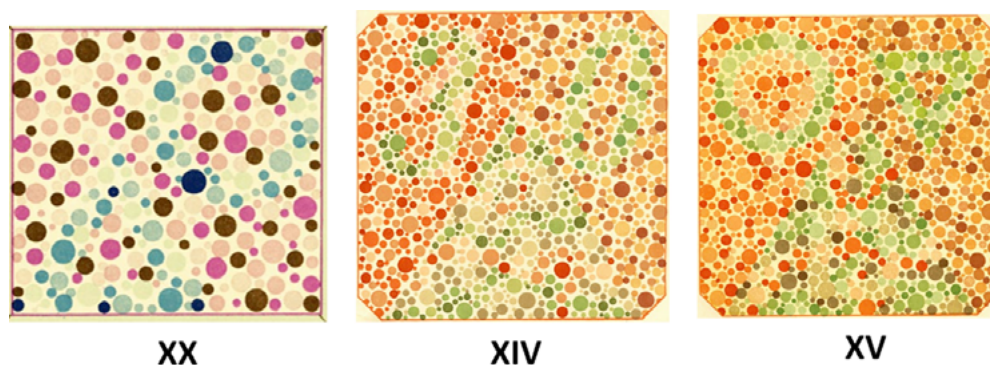


Рис. 4. Таблицы Е.Б. Рабкина, вызвавшие затруднения с определением формы тестовой фигуры у детей контрольной группы

Fig. 4. The E.B. Rabkin's tables that caused difficulties in determining the shape of test figure in the children of control group

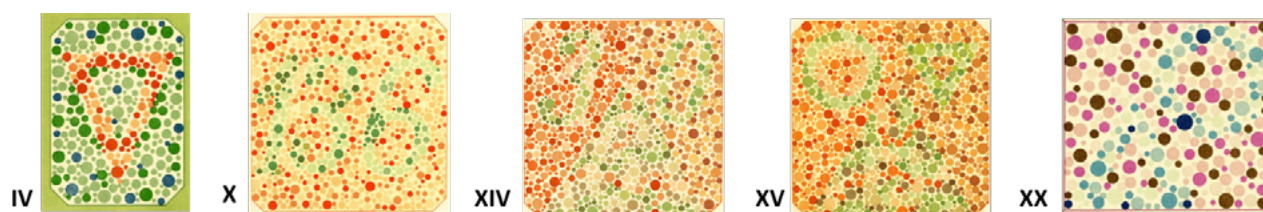


Рис. 5. Таблицы Е.Б. Рабкина, наиболее часто вызывавшие затруднения с определением формы тестовой фигуры у детей с ЧАЗН

Fig. 5. E. B. Rabkin's tables, which most often caused difficulties with determining the shape of test figure in the children with PAON

вых фигур. По таблицам Е.Б. Рабкина эти дети также являлись нормальными трихроматами. Семь детей с нормальной трихромазией по тесту Рабкина не видели в Neitz-test коричневую и зеленую минимальной насыщенности фигуры (№ 3 и 9).

Из четырех детей с аномальной трихромазией по таблицам Е.Б. Рабкина трое детей (имевших сочетание тританомалии и дейтераномалии) не различали цветные фигуры сине-зеленого и коричневого цвета (№ 2, 3, 5 и 9) и один ребенок с сочетанием тританомалии и протаномалии по таблицам Е.Б. Рабкина не различал в Neitz-test коричневую, красную слабой насыщенности, синюю и желтую фигуры (№ 3, 4, 6–8).

Из 15 детей, имевших затруднения в восприятии формы тестовых фигур в таблицах Е.Б. Рабкина,

у 12 детей наблюдались проблемы с восприятием формы фигур и в Neitz-test. Наиболее типичными ошибками были следующие: в № 3 (коричневый квадрат на фоне серого круга) дети видели коричневый круг, № 6 (розовый треугольник на фоне серого круга) – воспринимали как розовый круг, в № 7 (синий квадрат на фоне серого круга) – видели синий круг, в № 8 (желтый круг на фоне серого треугольника) – желтый треугольник и в № 9 (зеленый треугольник на фоне серого круга) – зеленый круг (рис. 6).

С разработанными нами изображениями в тесте № 1 семь детей не отличали от ахроматических контрольных картинок красную и зеленую тестовые картинки при минимальной насыщенности их цветового тона (S 10 %). Из них одна девочка не отличала зеленую и красную картинку от ахроматических и во втором варианте (S 30 %), но могла их отличить в третьем варианте (S 50 %). Остальные шесть детей отличали хроматические картинки от ахроматических в вариантах 2 и 3 (S 30 % и 50 % соответственно).

В тесте № 2 у этих же детей наблюдались трудности с различением оттенков. Четыре ребенка в первом варианте (S 10 %) этого теста не различали оттенки всех основных цветов. Из них во втором варианте (S 30 %) двое детей не различали оттенки красного и зеленого цвета и одна девочка – оттенки всех основных цветов. Трое детей не различали оттенки красного и зеленого цветов в первом варианте, но различали оттенки синего. Кроме того, двое детей, успешно справившихся с тестом № 1, имели затруднения с различением оттенков красного и зеленого цветов в первом варианте теста № 2. В третьем варианте теста № 2 (S 50 %) все дети с ЧАЗН успешно различали оттенки основных цветов.

Таким образом, нарушения цветовосприятия, условно обозначаемые нами как цветанопия и цветаномалия слабой и средней степени выраженности, выявили у девяти (24,3 %) детей с ЧАЗН. Из них у восьми детей наблюдали нарушения восприятия красного и зеленого основных цветов и их оттенков и в одном случае нарушения касались всех трех компонентов цветового зрения. Нужно отметить, что у всех девяти детей нарушения цветового зрения выявляли и по Neitz-test, а у четырех из них – аномальную трихромазию по таблицам Е.Б. Рабкина. Пятеро из девяти детей с выявленными нарушениями по нашим тестам в таблицах Е.Б. Рабкина мо-

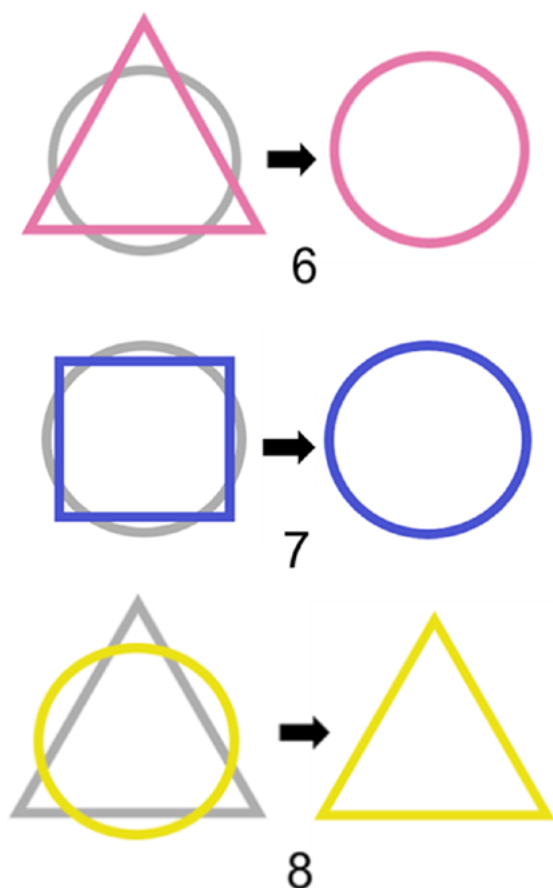


Рис. 6. Примеры ошибок в восприятии цвета и формы в тестовых изображениях Neitz-test у детей с ЧАЗН

Fig. 6. Examples of errors in color and shape perception in the Neitz Test images in the children with PAON

гли назвать цвета кружков, составляющих изображение, но затруднялись с определением его формы.

Анализируя полученные результаты, можно предположить, что проблемы восприятия хроматической формы у детей ЧАЗН связаны с наличием в зрительной системе человека различных каналов проведения информации разной модальности. В норме информация о цвете и форме, поступающая по разным каналам в центральные отделы зрительного анализатора, должна успешно интегрироваться для формирования целостного образа хроматической формы. Между тем, при различиях в нарушениях работы этих каналов и процессе интеграции поступающей зрительной информации могут возникать ошибки в формировании единого зрительного образа (binding problem) [24, 25]. У пациентов с ЧАЗН наблюдается расширение рецептивных полей, повышение порогов яркостной и контрастной чувствительности. При этом нарушения функционирования канала формы могут быть более выраженными, чем канала цвета, что может приводить к несинхронности в их работе и ошибкам в восприятии хроматической формы объектов. Вероятно, такими ошибками могут объясняться затруднения у части детей с ЧАЗН в определении целостной формы фигуры, состоящей из отдельных цветных кружков в таблицах Е.Б. Рабкина, а также парадоксальная способность у этих детей объединять форму ахроматической фигуры и цвет хроматической фигуры в единый зрительный образ при исследовании с Neitz-test.

Заключение

Таким образом, при использовании в диагностике цветового зрения таблиц Е.Б. Рабкина и Neitz-

Литература

1. Федорова С.Н., Белова О.В. Структура и причины врожденных атрофий зрительного нерва в Хабаровском крае. Вестник Оренбургского государственного университета. 2004;S(38):225–227.
2. Закирова Г.З., Миннегалиева А.З. Хирургическое лечение атрофии зрительного нерва у детей: методики, эффективность. Тихоокеанский медицинский журнал. 2021;3(85):67–70.
3. Аветисов С.Э., Егоров Е.А., Мошетова Л.К. и др. Офтальмология: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2018. 944 с.
4. Brodsky M.C. Optic atrophy in children. Pediatric neuro-ophthalmology. N.Y.: Springer; 2016. 199 p.
5. Turan K.E., Sekeroglu H.T., Koc I., Sanac A.S. Bilateral optic disc pathologies as an accompanying feature of comitant strabismus in children. International Ophthalmology. 2018;38(2):425–428. <https://doi.org/10.1007/s10792-017-0474-x>
6. Егорова Т.С. Значение индивидуальной программы реабилитации (абилитации) для детей – инвалидов по зрению. Российский офтальмологический журнал. 2018;11(1):67–73. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-1-67-73>
7. Пономарчук А.В., Храменко Н.И. Цветослабость при врожденных нарушениях цветоощущения различной степени тяжести. Офтальмологический журнал. 2018;4:39–43.

test нужно учитывать, что они создают условия, когда обследуемому ребенку ставится сразу две задачи: различение цвета и опознание формы. У здорового ребенка сочетание таких зрительных задач не вызывает затруднений, но у ребенка с ЧАЗН интеграция информации о цвете и форме в единый образ хроматической формы затруднена, что может препятствовать правильному выполнению теста и приводить к ошибкам в интерпретации врачом ответов ребенка.

Разработанные нами тестовые изображения легко распознаются и не ставят перед ребенком сложной зрительной задачи опознания хроматической формы. Способ позволяет осуществить эффективную диагностику цветового зрения у детей в норме и при офтальмопатологии. Кроме того, в связи с простотой выполнения, минимальным временем обследования и доступностью для понимания ребенка они представляются перспективными для использования у детей не только школьного, но и младшего возраста.

Вклад авторов

Концепция исследования, анализ полученных результатов, написание текста: Рычкова С.И., Лихванцева В.Г.

Сбор и статистическая обработка материала, подготовка иллюстраций: Рычкова С.И.

Поиск и перевод иностранной литературы, сбор материала, статистическая обработка, подготовка иллюстраций: Сандимиров Р.И.

Authors' contributions

Research concept, analysis of the results obtained, writing the text: Rychkova S.I., Likhvantseva V.G.

Collection and statistical processing of material, preparation of illustrations: Rychkova S.I.

Search and translation of foreign literature, participation in the collection of material, its statistical processing, preparation of illustrations: Sandimirov R.I.

References

1. Fedorova SN, Belova OV. Structure and causes of congenital atrophy of the optic nerve in the Khabarovsk territory. Vestnik of the Orenburg State University. 2004;S(38):225–227. (In Russ.)
2. Zakirova G.Z., Minnegaliev A.Z. Surgical treatment of optic nerve atrophy in children: methods, effectiveness. Pacific Medical Journal. 2021;3(85):67–70. (In Russ.)
3. Avetisov S.E., Egorov E.A., Moshetova L.K. et al. Ophthalmology: national guide. Moscow: GEOTAR-Media; 2018. 944 p. (In Russ.)
4. Brodsky M.C. Optic atrophy in children. Pediatric neuro-ophthalmology. N.Y.: Springer; 2016. 199 p.
5. Turan K.E., Sekeroglu H.T., Koc I., Sanac A.S. Bilateral optic disc pathologies as an accompanying feature of comitant strabismus in children. International Ophthalmology. 2018;38(2):425–428. <https://doi.org/10.1007/s10792-017-0474-x>
6. Egorova T.S. The importance of an individual rehabilitation program (habilitation) for visually impaired children. Russian Ophthalmological Journal. 2018;11(1):67–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-1-67-73>
7. Ponomarchuk A.V., Khramenko N.I. Color weakness in congenital color perception disorders of varying severity. Ophthalmological Journal. 2018;4:39–43. (In Russ.)

8. Аветисов С.Э., Кашченко Т.П., Шамшинова А.М. Зрительные функции и их коррекция у детей: Руководство для врачей. М.: Медицина; 2005. 872 с.
9. Kuriki I. Emergence and separation of color categories: an NIRS study in prelingual infants and a k-means analysis on Japanese color-naming data. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. 2019;30:21–27. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.04.012>
10. Tang T., Álvaro L., Alvarez J. et al. ColourSpot, a novel gamified tablet-based test for accurate diagnosis of color vision deficiency in young children. *Behavior Research Methods*. 2021;1–13. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01622-5>
11. Kerber K.L. Testing color vision in children. The pediatric eye exam quick reference guide. IGI Global; 2022. 378 p. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8044-8.ch002>
12. Agarwal A., Dinakar S., Tripathy N.K. et al. Colour vision standards: Past, present, and future. *Indian Journal of Aerospace Medicine*. 2020;64(2):93–99. https://doi.org/10.25259/IJASM_44_2020
13. Рабкин Е.Б. Полихроматические таблицы для исследования цветоощущения. М.: Медицина; 1971. 72 с.
14. Ishihara S. Tests for colour blindness. Tokyo, Japan: Kanehara Shupper Co. Ltd.; 1972.
15. Ngente Z., Jadav B., Aafaque S. et al. Prevalence of color vision anomalies among dental professionals. *Middle East African Journal of Ophthalmology*. 2021;28(3):169–173. https://doi.org/10.4103/meajo.meajo_529_20
16. Lumbu F., Panggabean E. Building systems testing method using Ishihara color blindness. *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*. 2020;2(2):218–221.
17. Neitz M., Neitz J. A new mass screening test for color-vision deficiencies in children. *Color Research & Application*. 2001;26(S1):239–249. [https://doi.org/10.1002/1520-6378\(2001\)26:1+::aid-col51>3.0.co;2-l](https://doi.org/10.1002/1520-6378(2001)26:1+::aid-col51>3.0.co;2-l)
18. Макаров И.А. Распространенность наследственных нарушений цветоощущения. *Офтальмология*. 2020;17(3):414–421. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-3-414-421>
19. Максимов П.В., Максимова Е.М., Грачёва М.А. и др. Алгоритм имитации зрения дихроматов и его применение для выявления аномалий цветоощущения. *Сенсорные системы*. 2019;33(3):181–196. <https://doi.org/10.1134/S0235009219030053>
20. Danilova M., Mollon J. Horizontal lines in the MacLeod-Boynton diagram: Saturation discrimination and hue discrimination compared. *Journal of Vision*. 2019;19(8):7–10. <https://doi.org/10.1167/19.8.7>
21. Danilova M., Mollon J. Discrimination of hue angle and discrimination of colorimetric purity assessed with a common metric. *Journal of the Optical Society of America*. 2020;37(4):226–234. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.382382>
22. HSL and HSV. Wikipedia, the free encyclopedia; 2022 [обновлено 13 октября 2022; процитировано 22 декабря 2022]. Доступно по: https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV
23. Yan F., Li N., Hirota K. QHSL: A quantum hue, saturation, and lightness color model. *Information Sciences*. 2021;577:196–213.
24. Treisman A. The binding problem. *Current Opinion in Neurology*. 1996;6(2):171–178.
25. Rychkova S., Ninio J. Paradoxical fusion of two images and depth perception with a squinting eye. *Vision Research*. 2009;49(5):530–535. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.12.018>
8. Avetisov S.E., Kashchenko T.P., Shamshinova A.M. Visual functions and their correction in children: A guide for doctors. Moscow: Medicine; 2005. 872 p. (In Russ.)
9. Kuriki I. Emergence and separation of color categories: an NIRS study in prelingual infants and a k-means analysis on Japanese color-naming data. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. 2019;30:21–27. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.04.012>
10. Tang T., Álvaro L., Alvarez J. et al. ColourSpot, a novel gamified tablet-based test for accurate diagnosis of color vision deficiency in young children. *Behavior Research Methods*. 2021;1–13. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01622-5>
11. Kerber K.L. Testing color vision in children. The pediatric eye exam quick reference guide. IGI Global; 2022. 378 p. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8044-8.ch002>
12. Agarwal A., Dinakar S., Tripathy N.K. et al. Colour vision standards: Past, present, and future. *Indian Journal of Aerospace Medicine*. 2020;64(2):93–99. https://doi.org/10.25259/IJASM_44_2020
13. Rabkin E.B. Polychromatic tables for the study of color perception. Moscow: Medicine; 1971. 72 p. (In Russ.)
14. Ishihara S. Tests for colour blindness. Tokyo, Japan: Kanehara Shupper Co. Ltd.; 1972.
15. Ngente Z., Jadav B., Aafaque S. et al. Prevalence of color vision anomalies among dental professionals. *Middle East African Journal of Ophthalmology*. 2021;28(3):169–173. https://doi.org/10.4103/meajo.meajo_529_20
16. Lumbu F., Panggabean E. Building systems testing method using Ishihara color blindness. *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*. 2020;2(2):218–221.
17. Neitz M., Neitz J. A new mass screening test for color-vision deficiencies in children. *Color Research & Application*. 2001;26(S1):239–249. [https://doi.org/10.1002/1520-6378\(2001\)26:1+::aid-col51>3.0.co;2-l](https://doi.org/10.1002/1520-6378(2001)26:1+::aid-col51>3.0.co;2-l)
18. Makarov I.A. Prevalence of hereditary color perception disorders. *Ophthalmology*. 2020;17(3):414–421. (In Russ.) <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-3-414-421>
19. Maximov P.V., Maximova E.M., Gracheva M.A. et al. An algorithm for simulating the vision of dichromats and its application for detecting color perception anomalies. *Sensor Systems*. 2019;33(3):181–196. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0235009219030053>
20. Danilova M., Mollon J. Horizontal lines in the MacLeod-Boynton diagram: Saturation discrimination and hue discrimination compared. *Journal of Vision*. 2019;19(8):7–10. <https://doi.org/10.1167/19.8.7>
21. Danilova M., Mollon J. Discrimination of hue angle and discrimination of colorimetric purity assessed with a common metric. *Journal of the Optical Society of America*. 2020;37(4):226–234. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.382382>
22. HSL and HSV. Wikipedia, the free encyclopedia; 2022 [accessed 13 Oct. 2022; cited 22 Dec. 2022]. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV
23. Yan F., Li N., Hirota K. QHSL: A quantum hue, saturation, and lightness color model. *Information Sciences*. 2021;577:196–213.
24. Treisman A. The binding problem. *Current Opinion in Neurology*. 1996;6(2):171–178.
25. Rychkova S., Ninio J. Paradoxical fusion of two images and depth perception with a squinting eye. *Vision Research*. 2009;49(5):530–535. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.12.018>

Сведения об авторах

Рычкова Светлана Игоревна^{*}, кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог, ведущий научный сотрудник лаборатории «Зрительные системы» ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» РАН; доцент кафедры глазных болезней Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России; e-mail: lana.rych@mail.ru; ORCID: orcid.org/0000-0001-6764-8950.

Лихванцева Вера Геннадьевна, доктор медицинских наук, профессор кафедры офтальмологии Академии постдипломного образования ФБГУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства»; e-mail: likhvantseva-4@yandex.ru; ORCID: orcid.org/0000-0003-2708-7217.

Сандимиров Роман Игоревич, студент ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России; e-mail: sandimirov.roman@mail.ru; ORCID: orcid.org/0000-0003-3163-2943

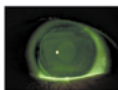
Information about the authors

Svetlana I. Rychkova^{*}, Cand. Sci. (Med.), Ophthalmologist, Lead Researcher of Vision Physiology Laboratory of the Kharkevich Institute for Information Transmission Problems; Department of Eye Diseases of the Medico-Biological University of Innovation and Continuing Education of Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency; e-mail: lana.rych@mail.ru; ORCID: orcid.org/0000-0001-6764-8950.

Vera G. Likhvantseva, Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Ophthalmology of the Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical Biological Agency of Russia; e-mail: likhvantseva-4@yandex.ru; ORCID: orcid.org/0000-0003-2708-7217.

Roman I. Sandimirov, Student of the N.I. Pirogov Russian National Research Medical University; e-mail: sandimirov.roman@mail.ru; ORCID: orcid.org/0000-0003-3163-2943.

ТЕСТ-ПОЛОСКИ



FLUO STRIPS – одноразовые стерильные тест-полоски с флюоресцеином.

Область применения: для диагностики повреждений роговицы и конъюнктивы глаза, синдрома сухого глаза. Незаменимы для оценки посадки газопроницаемых роговичных, склеральных и ортокератологических линз.

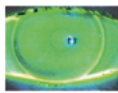
Активное вещество: краситель желтого цвета – низкомолекулярный флюоресцеин.



LISSAMINE GREEN – одноразовые стерильные тест-полоски с лиссаминовым зеленым.

Область применения: для диагностики эпителиальных повреждений роговицы и конъюнктивы глаза. Прокрашивают только поврежденные клетки эпителия, не прокрашивают межклеточное пространство и здоровые клетки. Идеальное средство для прокрашивания эпителиальных повреждений на «красном» глазу. Незаменимы для диагностики синдрома сухого глаза, повреждений эпителия конъюнктивы и роговицы у пользователей мягких и газопроницаемых контактных линз.

Активное вещество: краситель зеленого цвета – лиссаминовый зеленый.



HiGlo STRIPS – одноразовые стерильные тест-полоски с флюоресцеином.

Область применения: для определения посадки мягких контактных линз на глазу. Не прокрашивают материал мягких контактных линз.

Активное вещество: краситель желтого цвета – высокомолекулярный флюоресцеин.



ROSE BENGAL – одноразовые стерильные тест-полоски с бенгальским розовым.

Область применения: идеальный краситель для диагностики поверхностных повреждений при синдроме сухого глаза.

Активное вещество: краситель розового цвета – бенгальский розовый.



TEAR STRIPS – одноразовые стерильные тест-полоски для теста Ширмера.

Область применения: для количественной оценки слезопродукции. Используются при диагностике синдрома сухого глаза.